



João Francisco Serigado Dias Alves

Licenciado em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial

**Aplicação da Metodologia TRIZ e
Princípios Ergonómicos à Análise e
Conceção de Sistemas num Ambiente
de Melhoria Contínua**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e
Gestão Industrial

Orientadora: Professora Doutora Helena Vítorovna
Guitiss Navas, Professora Auxiliar, FCT-UNL

Coorientadora: Professora Doutora Isabel Maria do
Nascimento Lopes Nunes, Professora Auxiliar, FCT-UNL



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro de 2015

Aplicação da Metodologia TRIZ e Princípios Ergonómicos à Análise e Conceção de Sistemas num Ambiente de Melhoria Contínua

Copyright ©: João Francisco Serigado Dias Alves

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Representando esta dissertação o terminar de mais uma etapa, não posso deixar de agradecer a todos os que dela fizeram parte.

Agradeço à Professora Doutora Helena Navas e à Professora Doutora Isabel Nunes pela total disponibilidade e orientação prestada.

Agradeço à MFTE pela oportunidade única que me proporcionou e à forma como me recebeu. Agradeço a toda a equipa da Produção e a equipa do TOS, ao Engenheiro Luís Leitão pela disponibilidade que demonstrou desde a primeira reunião, ao acompanhamento, aos ensinamentos que me transmitiu e por me receber e integrar na equipa, ao Engenheiro Frederico Miranda e a Engenheira Licínia Dinis pela mesma vontade de me integrarem e permitirem que pudesse contribuir para a resolução dos problemas do dia-a-dia. Agradeço também a Doutora Fernanda Aparício que tornou esta experiência possível.

Agradeço à Madalena que esteve sempre presente.

E agradeço à minha família. Ao meu pai, à minha mãe e à minha irmã, que contribuíram cada um da sua forma: pela perseverança, pela paciência e pela confiança.

Resumo

Com o crescente nível de competitividade, são necessárias novas medidas para manter as empresas capazes de fazer frente à concorrência. Metodologias e filosofias desenvolvidas em diversos sectores tornam-se essenciais para enfrentar esta competitividade e a metodologia TRIZ não é exceção. Os prazos diminutos e a necessidade de respostas eficientes e rápidas, tornam a TRIZ uma boa “aquisição” à lista de ferramentas existentes.

A presente dissertação foi desenvolvida no âmbito de um projeto de melhoria contínua realizado na Mitsubishi Fuso Truck Europe (MFTE). O objetivo do estudo visou integrar os princípios de gestão *Lean* e de Ergonomia com as técnicas e ferramentas analíticas da TRIZ, de forma a conseguir obter soluções mais estruturadas e inovadoras, num menor espaço de tempo.

A MFTE dedica-se à montagem de veículos automóveis de mercadorias do modelo Fuso Canter e integra o grupo multinacional Daimler AG. Sendo gerida pelo *Truck Operating System (TOS)*, o sistema de gestão integrado do grupo, a sua filosofia de melhoria contínua orienta-se por ferramentas tradicionais da filosofia *Lean*. A TRIZ, como ferramenta de inovação sistemática e resolução inventiva de problemas, vem representar um contributo importante na gestão estratégica e operacional implementada na empresa.

Assim, no âmbito do projeto são apresentados dois casos concretos da aplicação do modelo que integra as metodologias em estudo. Uma das aplicações focou-se na conceção de um novo conceito de *kit* de abastecimento, com recurso à Matriz de Contradições. A outra aplicação da metodologia visou a resolução de um problema de desadequação ergonómica existente num posto da linha de revestimento, com a utilização da Análise Substância Campo.

A implementação das melhorias propostas permitiu reduzir desperdícios, desenvolver soluções mais ergonómicas e apresentar uma proposta para futura eliminação/redução de problemas a nível de Segurança Ocupacional.

Palavras-Chave: TRIZ; *Lean*; Ergonomia; TOS; Inovação Sistemática; Melhoria Contínua

Abstract

With the increasing level of competition in the market, companies need new methods to face their competitors. In such an environment, several methodologies and management principles developed across sectors become crucial, and TRIZ is not an exception. The short deadlines and the need to have fast and efficient responses to specific issues, make TRIZ a particularly useful tool to add to the ones that already exist in a company.

This thesis was developed in the context of a continuous improvement project at Mitsubishi Fuso Truck Europe (MFTE). The purpose of this study was to incorporate Lean management principles and Ergonomics into techniques and analytic tools of TRIZ, to obtain more innovative and structured solutions, in a faster way.

MFTE is part of the multinational group Daimler AG and is responsible for the assembly of Fuso Canter's commercial vehicles. Since it is managed by the integrated management system of the group, the *Truck Operating System (TOS)*, its continuous improvement tools and techniques are based on traditional *Lean* methods. As a systematic innovation and inventive problem solving tool, TRIZ represents an important contribution to the strategic and operational management to the company.

As such, in this continuous improvement project there are two proposals presented. One of these proposals focuses on the creation of a new supply kit, using the Contradictions Matrix. The other one aims at solving an ergonomic problem in one workstation, using the Sub-Field Analysis.

The implementation of these two proposals enabled eliminating waste, substance developing more ergonomic solutions and introducing an idea to eliminate/reduce some Occupation Safety issues in the near future.

Keywords: TRIZ; *Lean*; Ergonomics; TOS; Systematic Innovation; Continuous Improvement

Índice de Matérias

1.	Introdução.....	1
1.1.	Enquadramento.....	1
1.2.	Objetivo	1
1.3.	Estrutura	2
2.	Enquadramento teórico e âmbito de aplicação.....	3
2.1.	Teoria inventiva de resolução de problemas – TRIZ	3
2.1.1.	Conceitos fundamentais da TRIZ.....	7
2.1.2.	Ferramentas da TRIZ	10
2.2.	Sistema de gestão integrado TOS	19
2.2.1.	TOS+	20
2.3.	Ergonomia – Conceitos	20
2.3.1.	Lesões Músculo-Esqueléticas Relacionadas com o Trabalho (LMERT)	21
3.	Metodologia	25
3.1.	Modelo de aplicação da TRIZ	25
3.2.	Processo produtivo.....	26
3.3.	Integração da TRIZ no TOS +	27
3.3.1.	Filosofia <i>Lean</i>	28
3.3.2.	Conceitos ergonómicos	29
4.	Propostas de melhoria	31
4.1.	Conceção do <i>kit</i> de abastecimento	31
4.1.1.	Conceção do <i>kit</i>	32
4.1.2.	Apresentação de alternativas	33
4.1.3.	Matriz de idealidade	36
4.1.4.	Solução apresentada.....	47
4.2.	Eliminação da falta de adequação ergonómica no posto 8314 RH	49
4.2.1.	Caraterização do posto 8314RH	50
4.2.2.	Formulação do problema.....	57
4.2.3.	Análise Substância Campo	58
4.2.4.	Solução apresentada.....	77
5.	Conclusão e sugestões	81

5.1. Conclusão.....	81
5.2. Sugestões para trabalhos futuros	82
Referências bibliográficas	85
Bibliografia principal	85
Bibliografia complementar	87

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Modelo geral de soluções da TRIZ	5
Figura 2.2 – Esquema de formulação de problemas	6
Figura 2.3 – Modelo substância campo de um sistema completo	14
Figura 2.4 – Sistema incompleto (sem campo “F”)	15
Figura 2.5 – Sistema incompleto (sem substância “S” resultante)	16
Figura 2.6 – Sistema completo ineficiente	16
Figura 2.7 – Sistema completo com efeito indesejado	16
Figura 2.8 – Sistema completo eficiente sem efeitos colaterais negativos	16
Figura 2.9 – Solução geral 1	18
Figura 2.10 – Solução geral 2	18
Figura 2.11 – Solução geral 3	18
Figura 2.12 – Solução geral 4	18
Figura 2.13 – Solução geral 5	18
Figura 2.14 – Solução geral 6	18
Figura 2.15 – Solução geral 7	19
Figura 3.1 – Fluxograma da metodologia aplicada	25
Figura 3.2 – Esquema da linha de produção	27
Figura 3.3 – Linha de revestimento de cabines e postos de trabalho	27
Figura 4.1 – Linha de revestimento (perspetiva do final da linha)	31
Figura 4.2 – <i>Layout</i> da cabine e <i>kit</i> inicial	32
Figura 4.3 – <i>Kit</i> e estrado acoplado	34
Figura 4.4 – Carro de apoio com estrado acoplado	34
Figura 4.5 – Estrado com sistema <i>E-frame</i>	35
Figura 4.6 – Estrado rebatível	35
Figura 4.7 – Esquema de necessidade de estrado por posto da linha de revestimento	46
Figura 4.8 – <i>Kit</i> final	47
Figura 4.9 – Dinâmica entre <i>kit</i> e carro de apoio (<i>nesting</i>)	48
Figura 4.10 – Layout com o novo conceito de <i>kit</i>	49
Figura 4.11 – Posto de trabalho sobre a cabine (posto 8314)	50
Figura 4.12 – Posto com cabine elevada (posto 8314)	51
Figura 4.13 – Fixação dos bancos (altura normal)	52
Figura 4.14 – Colocação de tapa furos (altura normal)	52
Figura 4.15 – Montagem do apoio de pé (posto 8314RH)	53
Figura 4.16 – Montagem do guarda-lama (posto 8314RH)	53
Figura 4.17 – Colocação do autocolante <i>BlueTec</i> (posto 8314RH)	54
Figura 4.18 – Montagem do resguardo inferior (posto 8314RH)	54
Figura 4.19 – Fixação da cablagem principal (posto 8314RH)	55
Figura 4.20 – Montagem das guias (posto 8314RH)	55

Figura 4.21 – Fixação dos pedais (posto 8314RH).....	56
Figura 4.22 – Montagem do depósito de vácuo (posto 8314RH)	56
Figura 4.23 – Exemplo de sistema basculante	57
Figura 4.24 – Modelo Substância Campo do problema do posto 8314RH	58
Figura 4.25 – Adaptação do <i>gabarit</i> ao ensaio no posto 8314	59
Figura 4.26 – Fixação dos bancos à altura do ensaio (8314RH).....	60
Figura 4.27 – Colocação de tapa furos à altura do ensaio (8314RH)	60
Figura 4.28 – Montagem do guarda-lamas à altura do ensaio (8314RH).....	61
Figura 4.29 – Montagem do resguardo inferior à altura do ensaio (8314RH)	61
Figura 4.30 – Fixação da cablagem principal à altura do ensaio (8314RH)	62
Figura 4.31 – Fixação dos pedais à altura do ensaio (8314RH).....	62
Figura 4.32 – Montagem do apoio de pé à altura do ensaio (8314RH).....	63
Figura 4.33 – Colocação do autocolante <i>BlueTec</i> à altura do ensaio (8314RH).....	63
Figura 4.34 – Montagem das guias à altura do ensaio (8314RH)	64
Figura 4.35 – Montagem do depósito de vácuo à altura do ensaio (8314RH)	64
Figura 4.36 – Montagem do protetor de cabine à altura do ensaio (8314LH)	66
Figura 4.37 – Colocação do autocolante <i>BlueTec</i> à altura do ensaio (8314LH)	67
Figura 4.38 – Montagem da pega inferior à altura do ensaio (8314LH)	67
Figura 4.39 – Fixação do apoio de pé (altura no ensaio)	68
Figura 4.40 – Montagem do guarda-lama à altura do ensaio (8314LH)	68
Figura 4.41 – Modelo de Substância Campo referente à primeira alteração do sistema.....	69
Figura 4.42 – Exemplo de operação com procedimentos redundantes	70
Figura 4.43 – Modelo de Substância Campo referente à segunda alteração do sistema	72
Figura 4.44 – Somatório da duração (s) das operações por classificação de cada posto	74
Figura 4.45 – Ordem inicial das operações com classificação representada por cor	74
Figura 4.46 – Balanceamento de operações em função da posição da cabine	75
Figura 4.47 – Modelo de Substância Campo referente à terceira alteração do sistema.....	75
Figura 4.48 – Modelo de Substância Campo referente à quarta alteração do sistema.....	77
Figura 4.49 – Pegas do guincho de elevação da cabine	78
Figura 4.50 – Protótipo de <i>gabarit</i> dianteiro da cabine com amortecedor ASD	78
Figura 4.51 – Detalhe dos elementos móveis para adaptação do apoio a cabines estreitas e largas	79
Figura 4.52 – Esquema atual do <i>gabarit</i> dianteiro da cabine	79

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Relação de efeito e representação gráfica	15
Tabela 4.1 – Matriz de idealidade com as interações	37
Tabela 4.2 – Matriz de contradições adaptada ao caso em estudo	39
Tabela 4.3 – Frequência de identificação por princípios inventivos	42
Tabela 4.4 – Princípios inventivos aplicados à melhoria de cada parâmetro	43
Tabela 4.5 – Previsão de ocupação do estrado por posto	45
Tabela 4.6 – Resumo de princípios inventivos aplicados à alternativa escolhida	47
Tabela 4.7 – Níveis de ação do método RULA.....	49
Tabela 4.8 – Matriz de contradições condensada aplicada à segunda alteração do sistema ...	70
Tabela 4.9 – Previsão de melhoria dos tempos de operações.....	71
Tabela 4.10 – Operações do posto 8314LH	73
Tabela 4.11 – Operações do posto 8314RH.....	73

Lista de Abreviaturas

ARIZ	Algoritmo de Resolução Inventiva de Problemas
ASD	<i>Acceleration Sensitive Damping</i>
eHPV	<i>Engineering Hours per Vehicle</i>
ERV	<i>Ergonomic Reference Values</i>
ESC	<i>Ergonomic Screen Card</i>
FO	Folha de Operações
FTP	Folha de Trabalho Padrão
JIT	<i>Just-in-Time</i>
LMERT	Lesões Músculo-Esqueléticas Relacionadas com o Trabalho
MFTE	Mitsubishi Fuso Truck Europe
mv	<i>Manufacture Variable</i>
RULA	<i>Rapid Upper Limb Assessment</i>
TOS	<i>Truck Operating System</i>
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
TPS	<i>Toyota Production System</i>
TRIZ	Teoria de Resolução Inventiva de Problemas
TWI	<i>Training Within Industry</i>
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>

1. Introdução

Neste capítulo pretende-se fazer o enquadramento da presente dissertação, apresentar o seu objetivo e a sua estrutura.

1.1. Enquadramento

No setor industrial, a globalização, a revolução tecnológica e o desenvolvimento das redes logísticas resultou num aumento significativo do nível de competitividade. A estratégia de negócio passou a ser fundamental no triunfo de qualquer empresa.

Neste contexto, surgem filosofias e ferramentas de suporte à gestão. Exemplo disso é a filosofia de gestão *Lean*, que tem conquistado cada vez mais adeptos, não só na indústria automóvel onde surgiu, mas também nas restantes indústrias e serviços. Tendo como principal objetivo a eliminação de desperdício, procura a criação de valor com os menores recursos possíveis, e tenta maximizar o lucro (Melton, 2005).

A Mitsubishi Fuso Truck Europe (daqui em diante referida como MFTE) é uma fábrica da indústria automóvel e representa um exemplo concreto desta evolução. No seguimento da filosofia *Lean*, surge o Truck Operating System (TOS), sistema de gestão integrado da divisão Daimler Trucks a que pertence. Este sistema de gestão, para além de dispor de ferramentas e filosofias como os 5S's, *Total productive maintenance* (TPM), *Value stream mapping* (VSM), sistemas *pull / kanban* e *just-in-time*, investe também numa filosofia de melhoria contínua com a implementação de projetos *Kaizen*.

Mais recentemente, e no contexto de uma filosofia de melhoria contínua, surge o projeto piloto de implementação do Truck Operating System Plus (TOS+) numa linha de montagem da MFTE, o TOS+ *Trimming Line Project*. Este projeto vem possibilitar a integração da metodologia TRIZ e conceitos de Ergonomia, com ferramentas e técnicas tradicionais utilizadas pelo grupo. A integração da TRIZ torna-se essencial pela sua capacidade de padronizar processos. Sendo uma metodologia orientada para a resolução inventiva de problemas e de inovação sistemática, dinamiza processos de criatividade e procura soluções nas diversas áreas científicas. Em simultâneo, a aplicação de boas práticas ergonómicas tem um efeito direto no desempenho produtivo e no aumento da saúde.

1.2. Objetivo

O objetivo da presente dissertação é conciliar, no contexto diário de uma empresa da indústria automóvel, ferramentas da TRIZ e conceitos de Ergonomia, com métodos e técnicas já existentes. Neste caso, visa-se integrar ferramentas da TRIZ num projeto de melhoria contínua, baseado em metas e princípios do TOS+.

A primeira aplicação da TRIZ visa auxiliar o tratamento de informação e posteriormente aplicá-la na conceção de um *kit* de abastecimento com recurso aos 40 Princípios Inventivos, aplicados em sinergia com ferramentas de criatividade tradicionais, como o *brainstorming*.

A segunda aplicação pretende eliminar um problema gerado por desadequação ergonómica, com a aplicação de conceitos ergonómicos, boas práticas e de ferramentas *Lean*, de forma a alcançar uma solução com um custo reduzido.

1.3. Estrutura

A dissertação está repartida em cinco capítulos:

O primeiro capítulo apresenta o enquadramento do conteúdo desenvolvido, o objetivo pretendido e a estrutura da dissertação.

O segundo capítulo explica a metodologia TRIZ, apresentando algumas das suas ferramentas, com ênfase para as que foram utilizadas nos casos de estudo, apresenta o sistema de gestão integrado implementado na fábrica e por fim explica conceitos básicos de Ergonomia.

O terceiro capítulo descreve a metodologia utilizada, apresenta a fábrica de uma perspetiva localizada e operacional, e a relação que a TRIZ desenvolve na integração com o TOS+ e alguns conceitos ergonómicos.

O quarto capítulo apresenta as propostas de melhoria, com a integração das ferramentas e conhecimentos empregues em duas ocasiões distintas. A conceção de um novo *kit* de abastecimento a uma linha de montagem e a eliminação de um problema por falta de adequação ergonómica existente na mesma linha, mais concretamente no posto 8314RH.

No quinto, e último capítulo, é apresentada a conclusão do estudo desenvolvido e trabalho a implementar/desenvolver no futuro.

2. Enquadramento teórico e âmbito de aplicação

Neste capítulo são apresentados conceitos fundamentais para a compreensão das ferramentas aplicadas em ambos os casos de estudo. Procura, com uma abordagem simples, explicar os fundamentos de cada ferramenta, método ou conceitos utilizados na resolução de problemas. Além disso apresenta a metodologia TRIZ, o sistema de gestão integrada da MFTE, a definição de Ergonomia e alguns dos seus conceitos.

2.1. Teoria inventiva de resolução de problemas – TRIZ

TRIZ é o acrónimo russo para a Teoria Inventiva de Resolução de Problemas, desenvolvido por Genrich S. Altshuller em 1946, na antiga União Soviética. Consiste num conjunto de ferramentas e técnicas com origem no estudo de dezenas de milhares de certificados de autor e patentes. É baseada em métodos e conhecimento, e não em intuição. Caracteriza-se por ser um método analítico fácil e com rápido retorno (Barry, et al., 1996).

Genrich S. Altshuller nasceu na antiga União Soviética, em 1926. Mais tarde, veio a tornar-se o engenheiro responsável pelo departamento de patentes da marinha soviética, onde analisou, em conjunto com os seus colegas, centenas de milhares de certificados e patentes. Através desta análise, identificou um padrão nos processos inventivos. Destas patentes, só uma reduzida parcela representava uma completa invenção do objeto ou processo. A restante maioria era representada por uma alteração num determinado parâmetro do produto ou processo anterior. Abordando de uma forma genérica todas as patentes das mais diversas áreas científicas, Altshuller generalizou as diferentes melhorias e identificou os princípios de invenção fundamentais associados a cada uma. Assim, começou a desenvolver aquilo que nós hoje conhecemos como a TRIZ.

Apesar da TRIZ ter sido desenvolvida em 1946, só no ano de 1956 é que foi publicado o primeiro artigo sobre esta teoria. Desde a sua criação, o desenvolvimento e divulgação da TRIZ foi dificultado pelas autoridades comunistas e que por questões político-geográficas, permanecendo dentro do país de origem. Só no início dos anos noventa, com o fim da União Soviética, é que foi partilhada com o resto do mundo (Savransky, 2000).

Em resultado da análise de todos os processos evolutivos, Altshuller identificou cinco níveis distintos de inovação, em função das características inventivas (Navas, 2014a):

- **Nível 1:** Representa soluções de rotina utilizando métodos bem conhecidos na respetiva área da especialidade. O Nível 1 é o menos inovador e constitui cerca de 30% da totalidade dos processos evolutivos estudados por Altshuller.

- **Nível 2:** Representa pequenas correções em sistemas existentes, recorrendo a métodos conhecidos na indústria. Este nível constitui aproximadamente 45% da totalidade dos processos evolutivos estudados por Altshuller.
- **Nível 3:** Representa melhorias importantes que resolvem contradições em sistemas típicos de um dado ramo de atividade. Cerca de 20% do total das soluções enquadram-se neste nível. É neste que aparecem soluções criativas.
- **Nível 4:** Representa soluções baseadas na aplicação de novos princípios científicos. Os problemas são solucionados através da substituição da tecnologia original por uma nova. Cerca de 4% do total dos processos evolutivos podem ser classificadas como pertencentes a este nível.
- **Nível 5:** Representa soluções inovadoras baseadas em novas descobertas científicas. Este nível constitui menos de 1% da totalidade dos processos evolutivos estudados por Altshuller e é o que representa uma solução realmente inovadora.

Com a identificação dos cinco níveis de inovação, Altshuller conclui que cerca de 90% dos problemas já tinham sido resolvidos anteriormente e que se a informação analisada fosse do conhecimento geral, todas as soluções/inovações teriam sido alcançadas mais rapidamente.

Dos diferentes níveis referidos anteriormente, a TRIZ procura atuar essencialmente sobre os níveis três e quatro, já que estes representam o tipo de melhorias baseadas na aplicação de conceitos e princípios existentes aplicados noutras áreas. Para tal a TRIZ apresenta num conjunto de ferramentas que ajudam a sintetizar o mais variado tipo de problemas, juntando a heurística ao processo de criatividade e mecaniza “*step-by-step*” a forma de pensar (Ikovenko & Bradley, 2005).

Desde a criação da TRIZ até aos dias de hoje foram desenvolvidas uma série de ferramentas e técnicas. Entre estes, Altshuller desenvolveu (Terninko & Zusman, 1998):

- Níveis de inovação;
- Matriz de Contradições;
- Idealidade;
- Análise Substância Campo;
- 76 Soluções padrão;
- 7 Soluções Gerais;
- ARIZ (Algoritmo inventivo de solução de problemas).

Tal como Savransky (2000) defende, a TRIZ só por si não apresenta resultados. Tal como qualquer instrumento musical, a Matriz de Contradições e os 40 Princípios Inventivos (e outros instrumentos

heurísticos da TRIZ) não funcionam sozinhos. São instrumentos que recorrem ao conhecimento, mas que requerem experiência e formação para um melhor aproveitamento das suas capacidades (Savransky, 2000).

A TRIZ, tal como o nome indica, é orientada para a resolução de problemas. De uma forma generalizada, pode-se afirmar que existem dois tipos de problemas: aqueles que têm uma solução conhecida e os que não têm (género de problema a que se aplica a TRIZ). Um exemplo do primeiro tipo de problemas está na utilização de ferramentas conhecidas, (por exemplo: uma máquina com serra rotativa precisa de 100rpm, mas um motor AC funciona a 3600rpm, então recorre-se à utilização de uma caixa de transferência para passar 3600rpm para 100rpm) (Mazur, 1996). Este tipo de solução pertence ao primeiro nível de inovação definido por Altshuller e não representa uma inovação efetiva.

A TRIZ tem como fundamento base a existência de um problema, sendo que este é definido pela existência de pelo menos uma contradição. Logo, se não existe uma contradição, não deve existir um problema (Domb, 1997).

Na figura 2.1 pode-se observar de uma forma esquematizada, os passos no processo de resolução de problemas da TRIZ.

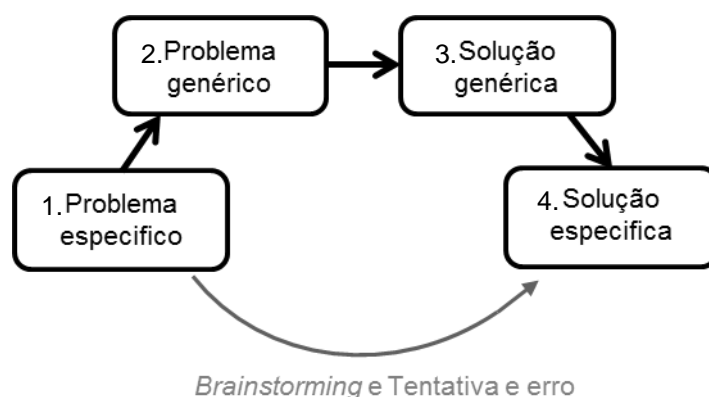


Figura 2.1 – Modelo geral de soluções da TRIZ (Terninko & Zusman, 1998)

Métodos como o de “tentativa e erro” e de *brainstorming* eliminam as fases dois e três, e procuram uma solução específica diretamente de um problema específico. No entanto, o processo que leva à solução (apesar de esquematicamente representar menos passos) pode ser um processo mais demorado.

Uma parte fundamental no desenvolvimento de soluções começa por uma clara formulação do problema. Por vezes, a correta identificação da origem do problema pode resultar numa solução quase imediata, sem necessidade de recorrer à TRIZ. Se não for o caso, o mesmo tipo de formulação orienta para aplicação das ferramentas e técnicas mais adequadas da TRIZ.

Formulação do problema

Vários autores desenvolveram métodos para proceder à formulação de problemas. Um deles foi apresentado por Prakash R. Apte (2000) e consiste em colocar seis perguntas essenciais face a um problema: “5W’s & an H” (figura 2.2), o “5W’s” referente a “quem?”, “qual?”, “quando?”, “onde?” e “porquê?” (respetivamente, *who*, *what*, *when*, *where* e *why*) e o “H” que se refere a “como?” (*how*) (Apte, et al., 2000).

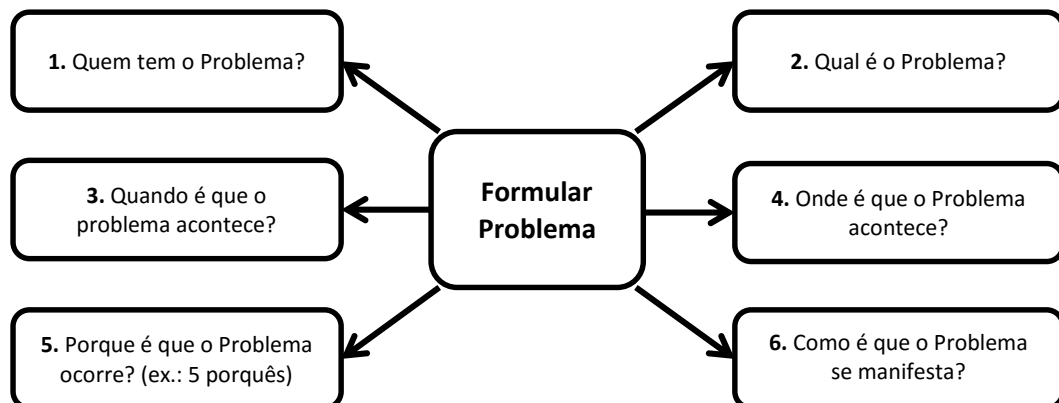


Figura 2.2 – Esquema de formulação de problemas (Apte, et al., 2000)

“Quem tem o problema?”

Esta pergunta procura identificar quem está ligado ao problema. Pode ser alguém que esteja a usar o produto final ou em qualquer fase da sua conceção, desde a produção, transporte, utilização, reparação ou eliminação do produto.

“Qual é o problema?”

Esta pergunta tem o objetivo de estruturar o problema em causa e procurar identificar e especificar:

- Conflitos/contradições;
- Efeitos indesejados/interações/efeitos;
- Ações desejadas insuficientes/interações/efeitos.

“Quando é que o problema acontece?”

É importante situar no tempo e perceber quando é que o conflito ocorre. Na linha de pensamento da TRIZ, se é possível identificar o tempo em que ocorre o conflito, o instante imediatamente antes e depois, então existe a possibilidade de identificar uma contradição física, que consequentemente poderá ser separada em torno do tempo. Se é esse o caso, a pergunta “quando?” é crucial para identificar o problema.

“Onde é que o Problema acontece?”

É importante perceber onde ocorre e não ocorre o conflito, analisar sistemas e subsistemas. Continua a ser importante ter em conta as estratégias de solução típicas para contradições físicas da TRIZ. A condição de espaço é identificada pela pergunta chave “onde?”.

“Porque é que o Problema ocorre? (5 *why*’s)”

O último “w”, também conhecido como “os cinco porquês”, procura essencialmente a origem do problema. O processo é auxiliado se se pensar na forma como a função/processo direciona para o problema. É importante identificar presenças e interações entre substâncias (objetos ou ferramentas), os campos (energia, forças) e perceber se é algum destes intervenientes que está a causar o problema.

“Como é que o Problema se manifesta?”

A questão “como?” é essencial para orientar para outro ponto de vista: identificar causas menos explícitas e efeitos do problema. Esta questão e a sua relação com causa-efeito têm um papel fundamental na teoria dos constrangimentos.

Este tipo de formulação de problemas ajuda essencialmente a conhecer o sistema e a, posteriormente, auxiliar na tomada de decisões. Conseguem-se soluções mais assertivas, num menor espaço de tempo, e idealmente, orientam o problema diretamente para a solução, sem a necessidade de aplicar nenhuma metodologia ou ferramenta adicional.

2.1.1. Conceitos fundamentais da TRIZ

Para entender a TRIZ é necessário, em primeiro lugar, conhecer e perceber determinados conceitos. Um dos conceitos mais importantes é o da idealidade que, de uma forma analítica, mostra a evolução de um sistema. O outro é o da contradição, que é uma parte essencial na resolução de problemas.

Idealidade

A idealidade de qualquer objeto ou processo deve evoluir de forma a ficar mais eficiente. Esta condição pode ser representada pelo nível de idealidade, definido pelo rácio entre funções benéficas e funções nocivas mais custos.

Um sistema que evolui no sentido de melhorar face ao estado anterior, vai ter uma representação acrescida de funções benéficas face às nocivas. Por outras palavras, condição que também é defendida pela TRIZ, um processo só apresenta um resultado final “ideal”, quando as contradições são resolvidas e o rácio entre funções benéficas e nocivas mais custos resulta num valor superior.

A idealidade de um sistema pode ser encontrada por meio de seis técnicas:

- Excluir funções auxiliares;
- Excluir elementos;
- Identificar autonomia;
- Substituir componentes, partes ou sistemas completos;

- Alterar o princípio de funcionamento;
- Utilizar recursos.

Contradições

Com o desenvolvimento de sistemas e a procura pela idealidade é normal que surjam contradições. Uma contradição consiste numa oposição ou incoerência de princípios, que surge frequentemente na procura por soluções. Por exemplo, quando se pretende melhorar um determinado parâmetro de um objeto, mas se acaba por prejudicar um outro parâmetro.

Estas contradições podem assumir três formas (Terninko & Zusman, 1998):

- Administrativa;
- Técnica;
- Física.

A contradição administrativa é uma contradição entre as necessidades e as capacidades, facilmente resolvida com o aumento de capacidade ou reorganização de um sistema ou organização. Por exemplo, uma empresa com falta de capacidade de mão-de-obra, resolve essa situação com a contratação de mais recursos ou melhoria de processos.

A contradição técnica surge quando a alteração de um parâmetro resulta na deterioração de um outro parâmetro. Segundo Altshuller, qualquer solução inventiva tem pelo menos uma contradição. Este tipo de contradição é representado pela intenção de melhoria de um parâmetro que resulta diretamente na degradação de outro.

A contradição física ocorre quando há requisitos físicos opostos ou contraditórios para a condição física do mesmo sistema. Por exemplo, quando se quer um carro que seja suficientemente pequeno para poder circular e estacionar com facilidade numa grande cidade, mas ao mesmo tempo quer um carro grande que lhe proporcione mais conforto.

Segundo a TRIZ, na resolução deste tipo de contradições podem ser aplicadas duas técnicas. Contradições técnicas podem ser resolvidas com base em ferramentas analíticas da TRIZ, tais como a Matriz de Contradições ou a Análise Substância Campo. Por outro lado, estas contradições técnicas podem ser transformadas em contradições físicas e, conseqüentemente, resolvidas com recurso a instrumentos analíticos direcionados para resolução de contradições físicas (por exemplo, as bases de dados de fenómenos físicos e efeitos) (Navas, 2014b).

O método de transformar uma contradição técnica numa contradição física consiste na identificação da característica desejada e indesejada. Por exemplo, apanhar sol é uma boa fonte de vitamina D, mas demasiada exposição solar danifica a pele. Ou seja, ao melhorar a aparência e promover a absorção de uma vitamina, a pele vai se deteriorar. É uma contradição técnica. O sol é bom porque fornece vitamina D, mas é igualmente mau porque é prejudicial para a pele. É uma contradição física.

O princípio da TRIZ visa a eliminação destas contradições de forma a alcançar a solução (Barry, et al., 1996).

Eliminação de contradições físicas

A eliminação de contradições físicas é alcançada com recurso a quatro conceitos de separação:

- Separação no espaço;
- Separação no tempo;
- Separação dentro de um todo e respetivas partes;
- Separação em função das condições.

A separação no espaço consiste em separar no espaço necessidades opostas. Se um sistema tem que atuar com funções contraditórias ou sobre condições opostas, deve ser repartido em subsistemas e atribuir as funções opostas a cada um dos subsistemas (Terninko & Zusman, 1998). Por exemplo, há algum tempo surgiu uma moda que consistia em misturar diferentes sabores de gelado numa só bola quando a pedido do consumidor. Para juntar os sabores era necessário que a bola de gelado atingisse uma dada temperatura, mas não alta o suficiente para que este derretesse. A solução utilizada era fazer a mistura numa pedra gelada. A temperatura ambiente descongelava o gelado e permitia a mistura. Em seguida, por meio de condução de calor, mais eficiente de que por convecção, a pedra arrefecia de imediato o gelado.

A separação no tempo consiste em separar características opostas em função do tempo. Se um sistema tem de operar em ambas as funções, tentar agendar funções para que estas não criem conflito (Terninko & Zusman, 1998). Por exemplo, os carros desportivos procuram, naturalmente, uma performance superior a qualquer outro carro dito comum. De entre as características que os distinguem, procuram aerodinâmica para conseguirem atingir velocidades e uma boa capacidade de travagem. Uma característica que tem efeito em ambas as situações é o coeficiente de arrasto, definido pela aerodinâmica da carroçaria. Se por um lado um coeficiente menor permite uma velocidade maior, um coeficiente maior permite uma travagem mais rápida. Uma solução para este problema foi a instalação de *flaps*, que quando se precisa mais capacidade de travagem, aumentam instantaneamente o coeficiente de arrasto. Por outro lado, quando é necessária velocidade, estes *flaps* estão embutidos na carroçaria.

A separação dentro de um todo e respetivas partes consiste na separação de funções diferentes dentro de um sistema mas em partes diferentes, mantendo o sistema com todas as funcionalidades (Terninko & Zusman, 1998). Por exemplo, um torno convencional, com uma parte fixa e outra móvel, movida por uma rosca, tem dificuldade para fixar uma peça que não tenha dois planos paralelos nas suas extremidades. Para contrariar essa dificuldade, foi desenvolvido uma espécie de torno com várias partes móveis, de forma a permitir que a peça fique bem condicionada.

A separação em função da condição consiste na separação de funções em ordem à condição, acionando a função somente quando esta é necessária (Terninko & Zusman, 1998). Por exemplo, os paraquedistas de queda livre estão suscetíveis a perder os sentidos quando saltam. Assim, os paraquedas estão equipados com um mecanismo que abre o para-quedas se a uma determinada altitude este não estiver já aberto.

Quando as contradições assumem a forma de contradições técnicas, é necessária a aplicação de outras ferramentas, nomeadamente; a Matriz de contradições ou a Análise Substância Campo.

2.1.2.Ferramentas da TRIZ

Ao longo dos últimos anos a maioria das ferramentas que constituem a TRIZ têm sido alvo de adaptações e melhorias. Por exemplo, alguns autores defendem a inclusão de mais parâmetros de engenharia e princípios inventivos na Matriz de Contradições. Enquanto que a matriz clássica, para a resolução das contradições existentes, apresenta até quatro dos 40 Princípios Inventivos para resolver contradições técnicas, uma matriz moderna pode sugerir até seis de cinquenta princípios inventivos estudados. Segundo Savransky (2000), com base no número de patentes analisadas por Altshuller e colegas, para um princípio inventivo ser acrescentado à matriz, basta que este esteja presente em pelo menos vinte patentes.

O ARIZ, por exemplo, tem neste momento inúmeras versões, sendo que a mais recente é constituída por cem passos. No entanto, não é a versão do ARIZ mais utilizada, essa é constituída por oitenta e cinco passos (Navas, 2013).

O avanço tecnológico e científico torna estas adaptações/atualizações extremamente importantes. De outra forma, a TRIZ (que é baseada na heurística), tornar-se-ia obsoleta como qualquer outro equipamento.

No caso em estudo, com o intuito de simplificar a implementação e compreensão das ferramentas utilizadas, não são apresentadas todas as ferramentas da TRIZ. O estudo do algoritmo ARIZ, por exemplo, não acrescentaria valor aos estudos de caso por ser uma ferramenta aplicada a casos mais complexos. Não obstante, os 40 Princípios Inventivos e a Matriz de Contradições, a Análise Substância Campo, as 76 Soluções Padrão e as 7 Soluções Gerais, representam um conjunto de ferramentas com aplicação prática e de grande interesse para o caso em estudo.

Princípios Inventivos e Matriz de Contradições

A Matriz de Contradições foi das primeiras ferramentas desenvolvida por Altshuller. Esta matriz soluciona a condição de que para a melhoria de um parâmetro num sistema, um outro parâmetro é prejudicado. De forma a contrariar o deterioramento do parâmetro prejudicado, a Matriz de Contradições orienta para a aplicação de determinados princípios inventivos.

Esta matriz surgiu da análise de patentes (já referida no subcapítulo 2.1), em que a maioria das soluções geradas partiram da melhoria de um ou mais dos seguintes parâmetros (Navas, 2014d):

- | | |
|---------------------------------------|---|
| 1. Peso (objeto móvel) | 2. Peso (objeto imóvel) |
| 3. Comprimento (objeto móvel) | 4. Comprimento (objeto imóvel) |
| 5. Área (objeto móvel) | 6. Área (objeto imóvel) |
| 7. Volume (objeto móvel) | 8. Volume (objeto imóvel) |
| 9. Velocidade | 10. Força |
| 11. Tensão, pressão | 12. Forma |
| 13. Estabilidade do objeto | 14. Resistência |
| 15. Durabilidade (objeto móvel) | 16. Durabilidade (objeto imóvel) |
| 17. Temperatura | 18. Claridade |
| 19. Energia dispensada (objeto móvel) | 20. Energia dispensada (objeto imóvel) |
| 21. Potência | 22. Perda de energia |
| 23. Perda de massa | 24. Perda de informação |
| 25. Perda de tempo | 26. Quantidade de matéria |
| 27. Fiabilidade | 28. Precisão de medição |
| 29. Precisão de fabrico | 30. Fatores prejudiciais que atuam sobre o objeto |
| 31. Efeitos colaterais prejudiciais | 32. Manufaturabilidade |
| 33. Conveniência de uso | 34. Reparabilidade |
| 35. Adaptabilidade | 36. Complexidade do dispositivo |
| 37. Complexidade no controlo | 38. Nível de automação |
| 39. Produtividade | |

A estes parâmetros, Altshuller, chamou de 39 Parâmetros Técnicos ou de Engenharia. Sendo estes tópicos uma forma genérica dos parâmetros abordados nas mais diversas áreas, é de salientar que, por exemplo, quando Altshuller definiu “4. Comprimento (objeto imóvel)”, não se referia unicamente ao comprimento do objeto, mas sim a todas as dimensões lineares de qualquer objeto, entre elas a espessura, diâmetro, altura, entre outras.

Altshuller, também identificou que só existiam 1250 conflitos típicos na evolução de um sistema, e que estes, podiam ser resolvidos com recurso aos 40 Princípios Inventivos (Navas, 2014d).

- | | |
|--------------------------|------------------------|
| 1. Segmentação | 2. Extração |
| 3. Qualidade local | 4. Assimetria |
| 5. Combinação | 6. Universalidade |
| 7. Nidificação | 8. Contrapeso |
| 9. Contra-acção prévia | 10. Acção prévia |
| 11. Amortecimento prévio | 12. Equipotencialidade |
| 13. Inversão | 14. Esfericidade |

- | | |
|--|--|
| 15. Dinamismo | 16. Ação parcial ou excessiva |
| 17. Transição para uma nova dimensão | 18. Vibrações mecânicas |
| 19. Ação periódica | 20. Continuidade de uma ação útil |
| 21. Corrida apressada | 22. Conversão de prejuízo em proveito |
| 23. Reação | 24. Mediação |
| 25. Auto serviço | 26. Cópia |
| 27. Objeto económico com vida curta em vez de um dispendioso e durável | 28. Substituição do sistema mecânico |
| 29. Utilização de sistemas pneumáticos ou hidráulicos | 30. Membranas flexíveis ou películas finas |
| 31. Utilização de materiais porosos | 32. Mudança de cor |
| 33. Homogeneidade | 34. Rejeição e recuperação de componentes |
| 35. Transformação do estado físico ou químico | 36. Mudança de fase |
| 37. Expansão térmica | 38. Utilização de oxidantes fortes |
| 39. Ambiente inerte | 40. Materiais compósitos |

Estes princípios são o produto final condensado da análise feita pelo próprio, sendo que são termos genéricos e com grande abrangência, podendo ser feitas várias interpretações para cada um deles.

Com base nesta informação, Altshuller, desenvolveu a Matriz das Contradições (Terninko & Zusman, 1998).

Exemplo de aplicação

De forma a compreender melhor no que consiste esta ferramenta e como se procede à sua aplicação, pode-se utilizar um exemplo genérico.

Para um proprietário de uma mota para terra batida, os dias de passeio que sucedem a dias chuvosos, resultam numa máscara de lama na mesma. Naturalmente, a seguir ao passeio, tem lugar a lavagem da mota que dura sensivelmente dez minutos. Devido ao planeamento do dia e às responsabilidades familiares, o proprietário dispõe de cinco minutos para proceder à respetiva limpeza. Existe um problema. É na realidade uma situação pertinente para aplicação da TRIZ!

Tal como referido anteriormente, a matriz é constituída por trinta e nove parâmetros de engenharia e por quarenta princípios inventivos. Na coluna, identifica-se o parâmetro que precisa de ser melhorado. No exemplo anterior, como o problema é a disponibilidade de tempo, que é afetada pela duração do procedimento, o parâmetro a melhorar será a “Velocidade”. Seleciona-se então na coluna vertical “Velocidade”. Como consequência, a redução do tempo despendido na operação de limpeza resulta numa degradação da operação, que do ponto de vista dos parâmetros de engenharia, é representado pela precisão de fabrico ou, neste caso, diminuição. Segundo a Matriz de Contradições, podem-se

identificar quatro princípios inventivos capazes de eliminar a contradição técnica resultante: (10) – ação prévia, (25) – automação, (28) – substituição do sistema mecânico e (32) – mudança de cor.

Numa primeira análise, o princípio trinta e dois pode ser excluído já que a ideia é mesmo limpar e não esconder. No entanto, tal como nos parâmetros de engenharia, também os princípios inventivos têm um significado bastante abrangente. No caso do exemplo foram apresentados quatro princípios (o número máximo possível para a matriz clássica) e cada um deles pode ser interpretado de diferentes formas.

10 – Ação prévia

- a) Proceder à operação ou parte dela em avanço;
- b) Preparar / posicionar objetos para que possam ser utilizados de imediato.

25 – Automação

- a. Tornar o objeto capaz de realizar as tarefas autonomamente;
- b. Garantir a utilização de resíduos materiais e energia.

28 – Substituição do sistema mecânico

- a. Substituir um sistema mecânico por um ótico ou acústico;
- b. Utilizar um campo elétrico, magnético ou eletromagnético para interagir com o objeto;
- c. Substituir campos;
- d. Utilizar um campo em conjunto com partículas ferromagnéticas.

32 – Mudança de cor

- a. Alterar a cor do objeto ou do ambiente em redor;
- b. Alterar o grau de transparência ou processo que seja difícil de ver;
- c. Usar aditivos de cor para observar objetos ou processos difíceis de ver;
- d. Se já são aplicados aditivos, aplicar traços fluorescentes.

Aparentemente, a solução mais em conta por poder representar um custo mais reduzido, parece ser a colocação de uma película autocolante que poderá ser removida no final do passeio. Se esta solução não resultar na depreciação do estado final em relação ao inicial (nível de idealidade de um sistema), confirma-se esta solução. Pode-se encontrar um exemplo similar nas folhas de alumínio colocadas nos fogões a gás, ou nos óculos utilizados por pilotos de motocross.

Este é um exemplo bastante genérico e hipotético que procura fundamentalmente exemplificar o processo e mostrar a facilidade de aplicação. Em problemas mais complexos a solução pode não ser tao óbvia e pode exigir a aplicação de ferramentas mais complexas.

Outra forma de aplicar a Matriz de Contradições consiste no desenvolvimento de uma matriz de idealidade.

Matriz de idealidade

Esta ferramenta tem como base a adaptação de características definidas pelo próprio utilizador à Matriz de Contradições. A matriz de idealidade permite que o primeiro passo consista na definição de características a melhorar e, face às características escolhidas, encontrar interações com as outras características existentes no mesmo sistema. Aquando da existência de uma interação negativa (que também pode ser positiva), é feita a adaptação à Matriz de Contradições, com a aproximação das características definidos pelo utilizador aos 39 Parâmetros de Engenharia, eliminando assim as interações negativas por meio de uma matriz de contradições adaptada.

Análise Substância Campo

Outra alternativa para a solução de contradições técnicas é a Análise Substância Campo. É uma ferramenta analítica que parte de uma construção gráfica e que se foca tanto na solução de problemas em sistemas tecnológicos existentes, como no desenvolvimento de novos sistemas. A correta aplicação do modelo substância campo pressupõe uma formulação bem conseguida do problema e executada por alguém com conhecimento técnico, mais do que para outras ferramentas da TRIZ. A Análise Substância Campo realça que para haver uma transformação do estado inicial de uma substância “S₁”, esta tem que sofrer uma força ou energia de um campo “F”, para se tornar numa outra substância “S₂”, tornando este um sistema completo. A apresentação gráfica de um sistema completo, é representado pela forma geométrica de um triângulo (figura 2.3).

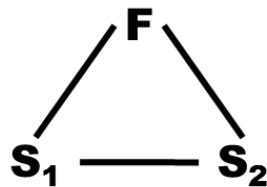


Figura 2.3 – Modelo substância campo de um sistema completo

Construção do modelo

A construção e a aplicação de um modelo substância campo consiste em quatro passos distintos:

- 1- Identificação dos elementos (F, S₁ e S₂);
- 2- Construção do modelo;
- 3- Considerar soluções com base nas 76 Soluções Padrão ou nas 7 Soluções Gerais;
- 4- Desenvolver um conceito que apoie a solução.

Campo (F)

A letra “F” provém da palavra *field* (tradução para inglês de campo). O campo pode ter um vasto significado. Pode representar um campo físico como a força eletromagnética, gravitacional, ou nuclear, ou outros tipos de campos tais como, o químico ou o acústico.





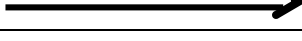
Os campos do modelo substância campo proporcionam determinado tipo de energia, informação, força, interação ou reação que resulta num efeito numa substância. A existência de um campo indicia a presença de uma substância.

Substância (S)

A letra “S” provém da palavra *substance* (tradução para inglês de substância). A substância pode ser definida por qualquer conjunto de sistemas, sistema ou objeto.

No desenvolvimento do modelo, a relação entre substâncias e, ou, sistemas pode ser retratada por diferentes representações gráficas (tabela 2.1).

Tabela 2.1 – Relação de efeito e representação gráfica

Aplicação	
Efeito desejado	
Efeito desejado insuficiente	
Efeito prejudicial	
Transformação do modelo	

Um modelo completo é constituído por um campo “F” e duas substâncias “S”. Uma substância inicial “S₁” que, incidida por um determinado campo, resulta numa substância final “S₂”. Este modelo é normalmente representado por um triângulo (figura 2.3).

Pelo modelo substância campo, a representação gráfica de um sistema existente, pode ser feita por um dos quatro modelos seguinte:

- Sistema incompleto em que falta um campo “F” ou uma substância “S” (representado pelas figuras 2.4 e 2.5).



Figura 2.4 – Sistema incompleto (sem campo “F”)

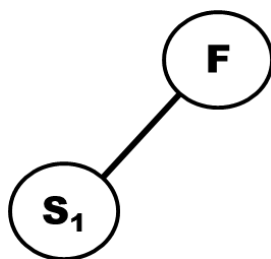


Figura 2.5 – Sistema incompleto (sem substância “S” resultante)

- Sistema completo ineficiente em que o campo “F” não tem o efeito necessário para obtenção da substância “S” desejada (representado pela figura 2.6).

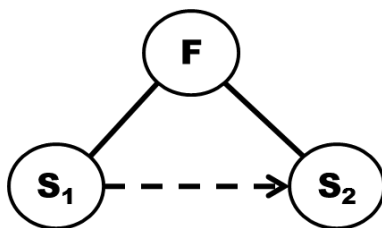


Figura 2.6 – Sistema completo ineficiente

- Sistema completo com efeitos indesejados (representado pela figura 2.7).

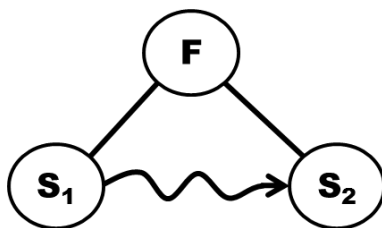


Figura 2.7 – Sistema completo com efeito indesejado

- Sistema completo eficiente sem efeitos colaterais negativos (representado pela figura 2.8).

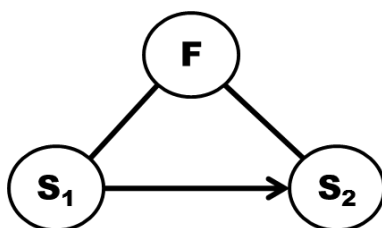


Figura 2.8 – Sistema completo eficiente sem efeitos colaterais negativos

Se algum dos três elementos está em falta no modelo (considerado sistema incompleto), a Análise Substância Campo identifica onde se situa essa falta e orienta o modelo no sentido da resolução. Se os três elementos já fazem parte do sistema, a Análise Substância Campo sugere formas para melhorar a performance. Estas alterações são orientadas por meio das 76 Soluções Padrão ou das 7 Soluções Gerais (Terninko & Zusman, 1998).

As 76 Soluções Padrão

As 76 Soluções Padrão compreendem um conjunto de soluções classificadas em cinco categorias distintas, e que apoiam a resolução de sistemas desenvolvidos com recurso à Análise Substância Campo. Estas categorias são (Terninko & Zusman, 1998):

- | | |
|--|----------------------|
| 1. Melhorar o sistema com pouca ou nenhuma alteração | (13 soluções padrão) |
| 2. Melhorar o sistema com alteração do sistema | (23 soluções padrão) |
| 3. Transições do sistema | (6 soluções padrão) |
| 4. Detecção e medição | (17 soluções padrão) |
| 5. Estratégias de simplificação e melhoria | (17 soluções padrão) |

Através de uma análise mais cuidada das 76 soluções padrão, constata-se que na verdade, trata-se de 86 soluções. Um exemplo disso está na solução 1.1.8 (1.1.8.1 e 1.1.8.2), que apesar de ser quantificada como uma solução, representa na prática duas soluções diferentes. Assim, apesar de tradicionalmente esta ferramenta ser referidas como 76 soluções padrão, tem na verdade 86 soluções padrão.

As 76 Soluções Padrão e os 40 Princípios Inventivos

Alguns autores, como é o caso de Ellen Domb e John Terninko (1999), encontraram uma relação entre estas duas ferramentas. Por exemplo, o primeiro princípio inventivo (1 – Segmentação), relaciona-se com quatro soluções padrão, a “5.1.2 – Dividir o elemento em unidades menores”, a “2.2.2 – Utilização de partículas em vez de objeto completo”, a “2.2.4 Dividir o objeto em partes, e fazendo-o flexível conectando as partes” e a “3.2.1 – Transmissão para nível microscópio”. No entanto, esta comparação entre as duas ferramentas prova que uma não substitui a outra, de facto, uma série de princípios inventivos não têm uma solução padrão associada, mas os pontos que têm podem ser melhor aplicados por estarem associados a uma ou mais soluções padrão (Domb, et al., 1999).

As 7 Soluções Gerais

Com o intuito de aplicar a Análise Substância Campo de uma forma mais simples e eliminar algumas possíveis dúvidas, surge uma condensação das 76 Soluções Padrão para as 7 Soluções Gerais. A condensação das 76 Soluções Padrão permite uma aplicação mais simples e rápida, ideal para utilizadores menos experientes. A solução do problema continua a poder ser direccionada para os campos ou as substâncias, em função do modelo analisado (Mao, et al., 2007).

As 7 Soluções Gerais focam-se no aspeto gráfico do problema e orientam por meio de alterações no modelo gráfico uma alteração no sistema real que represente o resultado desejado.

Solução geral 1 – Completar o modelo Substância Campo se qualquer um dos componentes estiver em falta (figura 2.9).

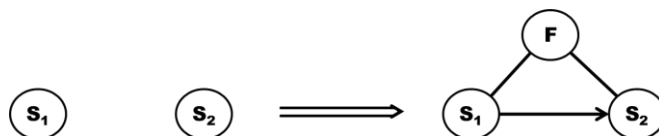


Figura 2.9 – Solução geral 1

Solução geral 2 – Alterar substância “S₁” para eliminar ou reduzir impacto negativo (figura 2.10).

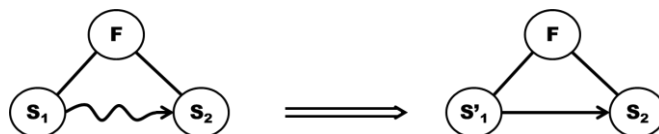


Figura 2.10 – Solução geral 2

Solução geral 3 – Alterar substância “S₂” para “insensível” ou menos sensível ao impacto negativo (figura 2.11).

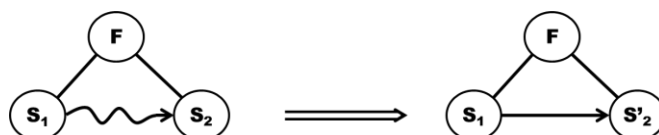


Figura 2.11 – Solução geral 3

Solução geral 4 – Alterar campo existente para reduzir ou eliminar impacto negativo (figura 2.12).

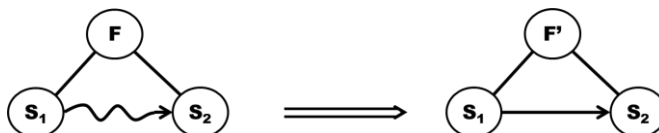


Figura 2.12 – Solução geral 4

Solução geral 5 – Eliminar, neutralizar ou isolar impacto negativo usando outro campo com efeito simétrico (figura 2.13).

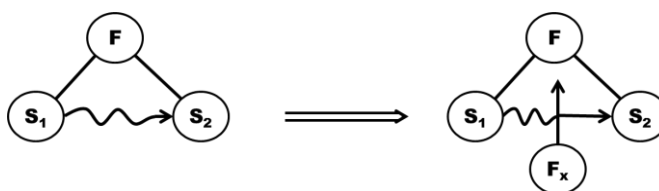


Figura 2.13 – Solução geral 5

Solução geral 6 – Introduzir um campo positivo (figura 2.14).

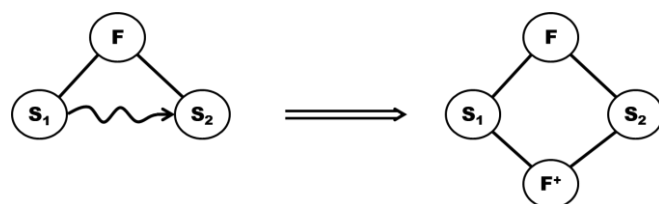


Figura 2.14 – Solução geral 6

Solução geral 7 – Expandir modelo Substância Campo para uma cadeia (figura 2.15).



Figura 2.15 – Solução geral 7

A condensação das soluções padrão representa uma maior acessibilidade para utilizadores menos experientes na utilização da Análise Substância Campo, reforçando a premissa de um rápido retorno para um utilizador inexperiente.

2.2. Sistema de gestão integrado TOS

À imagem do que se pode identificar numa fábrica do grupo Toyota com o sistema de gestão integrado TPS (*Toyota Production System*), na Daimler Trucks surge o *Truck Operating System*, e consequentemente na MFTE, mais vulgarmente conhecido por TOS. O TOS, como ferramenta essencial para a gestão operacional, e com raízes no TPS e no TWI (*Training Within Industry*), define parâmetros e padrões transversais às fábricas da Daimler Trucks, divisão da qual faz parte a MFTE.

O TOS tem como estrutura cinco pontos essenciais:

- I. Infraestrutura Humana;
- II. Padronização;
- III. Qualidade;
- IV. *Just-in-Time*;
- V. Melhoria contínua.

Com a infraestrutura humana, o TOS procura cultivar a liderança, a clarificação de tarefas, a importância, envolvimento e evolução dos colaboradores, uma estrutura organizacional que permita o trabalho em equipa e, naturalmente, a preocupação pelo ambiente e pela segurança dos seus empregados.

A padronização, tal como o nome indica, foca-se na padronização de ferramentas, procedimentos, métodos, *layout*, quadros de desempenho, entre outros, com o objetivo de procurar a uniformidade dentro do grupo e, consequentemente, uma fácil troca de conhecimento.

O foco na qualidade procura essencialmente oferecer ao consumidor e, ou, cliente aquilo que este procura num produto. Ou seja, o TOS incita o esforço dos colaboradores a alcançar zero defeitos, conseguindo-se assim alcançar uma produção estável e com resultados previsíveis.

A filosofia *just-in-time* é a base fundamental do TOS no sistema de produção desde a encomenda, passando pela definição e gestão da cadeia de fornecimento até à entrega do veículo ao cliente final. Esta filosofia suporta diretamente a capacidade do sistema produzir ao menor custo e no menor tempo

possível. Também, garante o que o consumidor quer, na quantidade que quer e quando quer, utilizando unicamente o material, equipamento, trabalho e espaço necessário (Daimler AG, 2009).

Por fim, mas não menos importante, a filosofia de melhoria contínua é o processo de procura continuada por melhorias nos padrões atuais através de análise sistemática e desenvolvimento de soluções para implementar e fortalecer o modelo de operação. A melhoria contínua tem como meta reconhecer e reduzir as atividades sem valor acrescentado, reduzir lead-time, eliminar desperdício e melhorar as condições de trabalho dos colaboradores. Não de forma a criar um ambiente mais vigoroso/estrênua mas com o intuito de promover um método de trabalho mais inteligente (Daimler AG, 2009).

Ao longo deste trabalho são abordados com mais atenção três dos cinco pontos essenciais apresentados: o primeiro com a implementação de um modelo de padronização para a conceção/correção de sistemas, parte do capítulo sobre a infraestrutura humana com as questões ergonómicas e o último capítulo com a questão da melhoria contínua.

Mais recentemente, no contexto da melhoria contínua surge o TOS+, que acrescenta ao TOS novas técnicas e metas.

2.2.1.TOS+

O TOS+ traz ao TOS o conhecimento do sistema de produção da Mercedes-Benz Cars, (divisão responsável pela produção de automóveis ligeiros de passageiros), e tem como objetivo aumentar a eficiência dos recursos disponíveis, com a melhoria dos processos associados à montagem. Com uma abordagem bidirecional foca, por um lado, a linha de montagem como definição de novos princípios e metas, e por outro lado, o sistema logístico com uma abordagem similar.

O TOS+ apresenta-se à MFTE com a sua implementação na linha de revestimento de cabines (linha piloto). Com um novo modelo de classificação de operações, passam a ser consideradas como eHPV (*engineering hours per vehicle*) ou mv (*manufacture variable*). Visto que o TOS+ tem como objetivo principal a eliminação de desperdício, o foco é direcionado para operações classificadas como mv.

Com o intuito de auxiliar a melhoria das condições de trabalho dos colaboradores, o TOS+ dispõe de duas ferramentas. A *Ergonomics Screening Card* (ESC), destinada a uma primeira aferição ergonómica, e a *Ergonomic Reference Values* (ERV) orientada para uma fase de conceção de postos de trabalho. Identifica zonas adequadas para manuseamento de componentes ou de trabalho, apresenta valores de referência para as forças aplicadas e o manuseamento de cargas.

2.3. Ergonomia – Conceitos

A Ergonomia é a ciência que se foca na interação do Homem com o meio em que está inserido. Harmoniza vários fatores (como tarefas, ambiente envolvente ou estrutura empresarial), procurando

adaptar as condições de trabalho e as suas exigências à capacidade de cada indivíduo, com o objetivo principal de salvaguardar a sua saúde e o seu bem-estar. Para tal é necessário construir sistemas ergonómicos em função das características individuais de cada indivíduo (IEA, 2000).

A responsabilidade pelas questões ergonómicas deve estar a cargo da gestão de topo. Esta condição permite uma reação rápida e eficiente na eliminação de desadequações ergonómicas. Organizações com princípios ergonómicos bem estruturados apresentam sistemas produtivos mais eficientes. O desprezo por estas questões pode representar (a médio/longo prazo) uma série de problemas de saúde, nomeadamente o desenvolvimento de Lesões Músculo-Esqueléticas Relacionadas com o Trabalho (LMERT) (Salvendy, 1998).

2.3.1. Lesões Músculo-Esqueléticas Relacionadas com o Trabalho (LMERT)

As LMERT, tal como o nome sugere, estão associadas a práticas danosas no meio de trabalho. As primeiras preocupações com questões ergonómicas, ou mais genericamente, com a medicina ocupacional são datadas de 1717. Há mais de 300 anos Bernardino Ramazzini, pai da Medicina Ocupacional, identificou a relação de determinadas lesões do sistema músculo-esquelético com o trabalho. A origem destas lesões encontrava-se na realização de movimentos bruscos e irregulares, e na adoção de posturas desadequadas. Existem, inclusive, registos médicos de algumas lesões típicas do exercício de determinados trabalhos que identificavam a lesão pelo nome da profissão, por exemplo, “Cotovelo de Carpinteiro”, “Ombro de Pedreiro” ou “Punho de Costureira” (Putz-Anderson, 1988). Esta ideia ainda hoje é bastante precisa e, mais do que nunca, em resultado da constante procura de eficiência, representa uma responsabilidade para a entidade empregadora de assegurar boas condições de trabalho e bem-estar.

As LMERT não surgem de imediato, são o resultado de um desprezo continuado de vários fatores e são precedidas por uma série de sinais e/ou sintomas. A execução de determinadas operações que resultam na fadiga do operador (no caso concreto de uma linha de produção) devem ser seguidas por períodos de descanso, permitindo assim a sua recuperação.

Atualmente, as lesões surgem essencialmente pela exigência da indústria em manter altos níveis de produção. Podem ser despoletadas por diversas condições, nomeadamente a adoção e o exercício de posturas incorretas, repetição de movimentos, ritmo de trabalho elevado, falta de repouso ou tempo de recuperação da fadiga, manuseamento de cargas pesadas, exposição a vibrações, exposição a condições climáticas adversas, utilização das mãos com esforço, entre outras. Estas lesões podem afetar qualquer região do corpo, sendo que as regiões mais fustigadas por este tipo de patologia são os membros superiores, o pescoço e a zona lombar (Nunes, 2006).

Apesar da crescente preocupação com estas questões, no ano de 2014, os encargos resultantes de LMERT em alguns países europeus, representaram entre 0,5 a 2% do Produto Nacional Bruto (HSE, 2014).

Este tipo de patologia é normalmente associado a uma série de sintomas, nomeadamente (HSE, 2015c):

- Sensibilidade;
- Dor;
- Rigidez;
- Fraqueza;
- Formigueiro / Dormência / Entorpecimento;
- Cãibras;
- Inchaço.

Tal como referido anteriormente, as condições de trabalho estão diretamente relacionadas com o surgimento das LMERT, e o seu desenvolvimento advém da exposição a determinados fatores de risco. Um fator de risco é caracterizado por representar uma fonte ou situação com potencial para provocar danos no sistema músculo-esquelético e pode assumir três formas:

- Os **fatores de risco físicos** são representados por atividades de trabalho que expõem o trabalhador a condições que podem afetar o mecanismo fisiológico, nomeadamente (Nunes, 2006):
 - A postura;
 - A força;
 - A repetição;
 - A pressão direta extrema (estresse por contacto);
 - A vibração;
 - O frio.

Todos estes fatores de risco são potenciados pela duração à sua exposição, fator que é também por si considerado de risco.

- Os **fatores de risco psicossociais** são caracterizados por não terem uma natureza biomecânica mas derivarem da estrutura organizacional relacionada com o trabalho. Este tipo de fator de risco depende diretamente de cada pessoa, tendo assim diferentes respostas ao mesmo estímulo. São geralmente desencadeados por aspetos relativos ao trabalho, como a carga de trabalho ou monotonia da tarefa; por relações interpessoais, como relações entre colegas de trabalho ou supervisores; por aspetos financeiros/económicos, como o salário e a igualdade entre colegas; e por aspetos sociais, como o prestígio e o estatuto no seio do meio em que se inserem (NIOSH, 1997). Este tipo de fator de risco por si só não representa uma causa para o aparecimento de LMERT, mas quando encontrado em simultâneo com um fator de risco físico, tem a capacidade de o potenciar (Gezondheidsraad, 2000).
- Os **fatores de risco individuais** são caracterizados por não terem qualquer relação com o ambiente de trabalho e serem inerentes a cada individuo. São representados pelas características pessoais, pela condição física e por antecedentes clínicos ou profissionais. Tal

como os fatores de risco psicossociais, também estes não representam um risco quando não existem fatores de risco físicos associados (Nunes, 2006).

Os fatores de risco físicos são os que apresentam uma maior preocupação para as empresas. A existência de um destes fatores de risco pode ter um efeito (a médio ou longo prazo) no sistema músculo-esquelético e provocar uma LMERT. Assim, é fundamental proteger contra qualquer risco e implementar a prática de bons costumes ergonómicos.

3. Metodologia

Neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada para integrar a TRIZ no projeto do TOS+. Em primeiro lugar define-se o fluxograma do processo de implementação da TRIZ. Em seguida, apresenta-se a empresa e a linha onde foi implementado o projeto. É também contextualizada a filosofia *Lean* e a Ergonomia no TOS+, e de que forma estes conceitos se reúnem e integram a TRIZ no TOS+.

3.1. Modelo de aplicação da TRIZ

Para cumprir o objetivo definido foi necessário assumir uma estratégia de aplicação da metodologia. Este processo decorreu em simultâneo com a implementação do TOS+ *Trimming Line Project* na MFTE.

A metodologia aplicada é constituída por cinco passos distintos (figura 3.1):

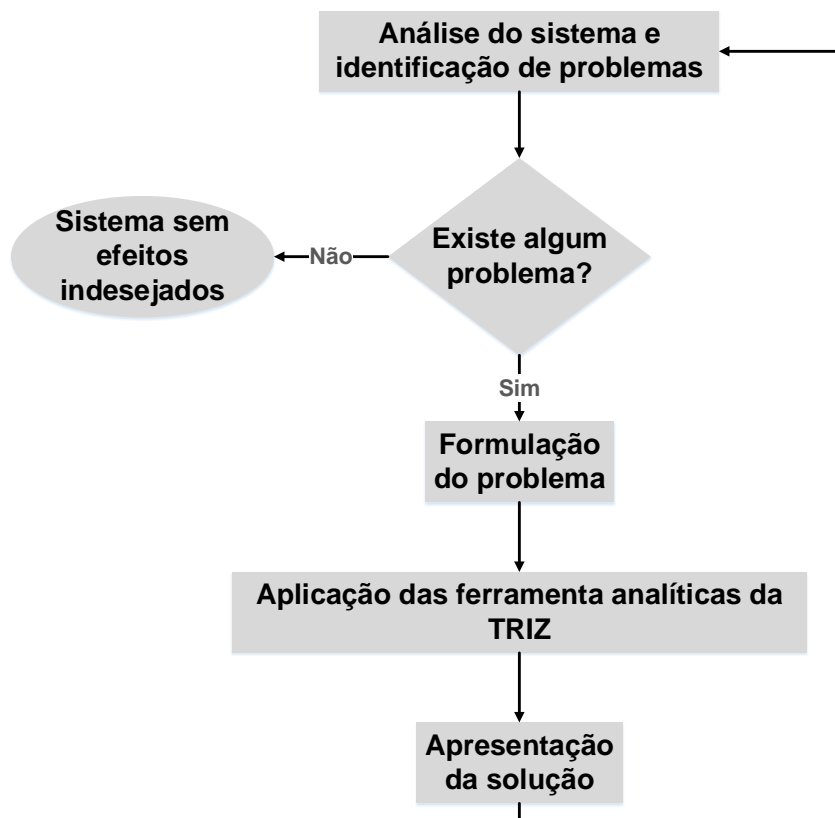


Figura 3.1 – Fluxograma da metodologia aplicada

1. Análise do sistema e identificação de problemas – No decorrer do projeto, durante o processo de análise dos postos da linha de revestimento (parte do processo de implementação do TOS+), podem surgir diversos problemas, em que uns terão solução, e outros não.

2. Existe algum problema? – Nesta fase é a tomada de decisão. Tratando-se de um problema sem uma solução aparente é formulado o problema. Caso contrário, obtém-se um sistema sem efeitos indesejados.
3. Formulação do problema – Tal como a metodologia TRIZ defende, uma correta formulação só por si pode resolver o problema e orientar para a ferramenta apropriada. A identificação das características do problema promove a clarificação da estrutura e a rapidez de resolução.
4. Aplicação das ferramenta analíticas da TRIZ – Em função da natureza do problema, e podendo este ser provocado por contradições técnicas ou físicas, a TRIZ dispõe de um conjunto de ferramentas ideais para cada situação. Nesta fase de aplicação da TRIZ foram utilizadas a Matriz de Contradições e os 40 Princípios Inventivos adaptados de uma matriz de idealidade, e ainda a Análise Substância Campo, auxiliada pelas soluções gerais. A aplicação destas ferramentas considerar sempre os princípios TOS.
5. Apresentação da solução – Terminada a aplicação das ferramentas e alcançadas as soluções, são abordados outros problemas e é repetido o procedimento.

3.2. Processo produtivo

A MFTE tem sete linhas de montagem distintas. A linha de chassis onde são rebitadas as longarinas às travessas; a linha de montagem de eixos onde são montados o sistema de suspensão e o sistema de travagem (sendo que estas duas primeiras linhas convergem dando início à linha final), em paralelo, coexiste a linha de soldadura, que dá a forma à cabine, seguida da linha de tratamento anticorrosivo e de pintura final. O tratamento consiste na imersão da cabine em vários banhos químicos para prevenir a corrosão, num revestimento electrostático de forma a garantir uma pintura uniforme, e por fim na pintura. Terminada a pintura, a cabine segue para a linha de revestimento, que consiste na montagem de componentes no interior e no exterior da cabine, nomeadamente, bancos, painel de instrumentos, tapetes, vidros, espelhos, entre outros. Por fim, realiza-se o acoplamento do chassis à cabine. Isto acontece na linha final que, é onde se dá como concluída a montagem da Fuso Canter. Na figura 3.2 observa-se de uma forma esquematizada o processo descrito anteriormente.

O TOS+ *Trimming Line Projet* tem como único foco a linha de revestimento (figura 3.3). Esta linha tem a capacidade para vinte e oito postos de trabalho, mas devido à redução do nível de produção, consequência da procura, só estão ocupados treze, sendo que o objetivo deste projeto visa a eliminação de desperdício ainda existente na linha.

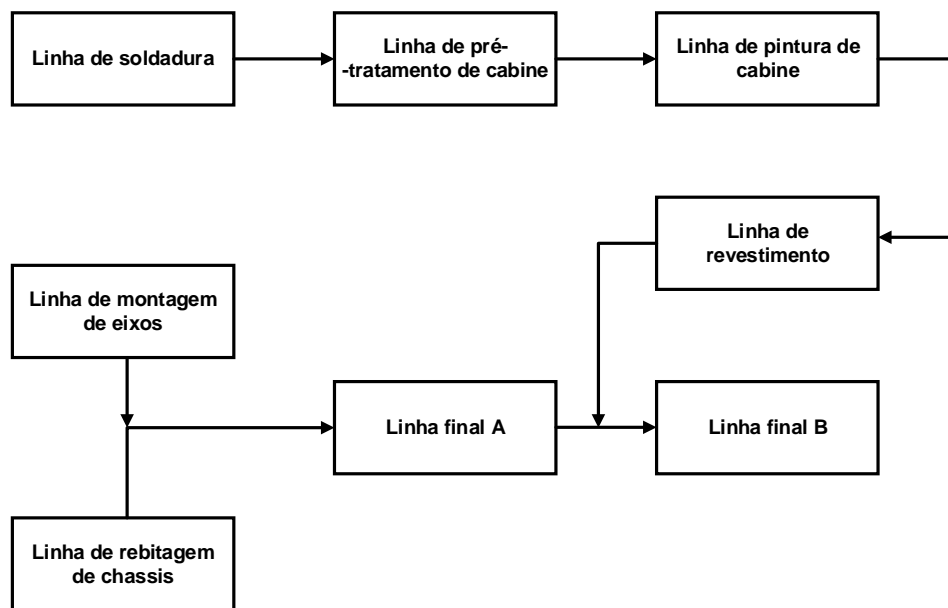


Figura 3.2 – Esquema da linha de produção

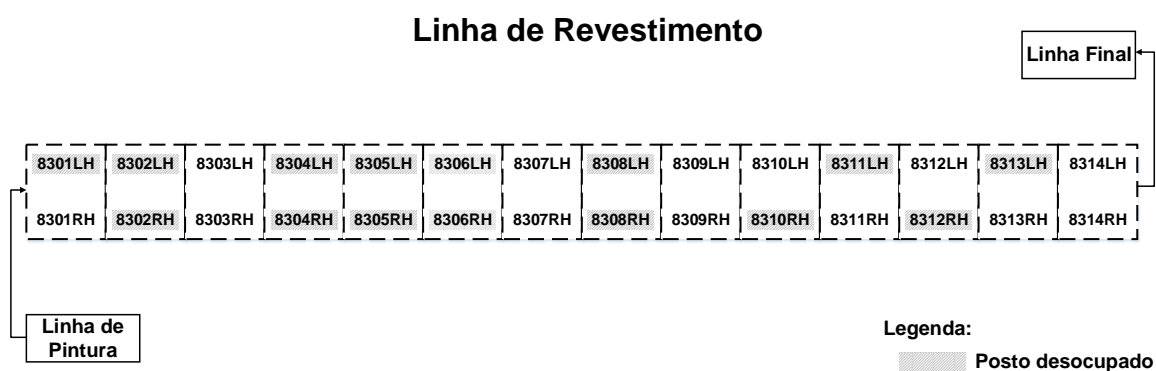


Figura 3.3 – Linha de revestimento de cabines e postos de trabalho

3.3. Integração da TRIZ no TOS +

Num projeto desta envergadura e com objetivos extremamente exigentes, torna-se pertinente a utilização de recursos que facilitem e promovam de uma forma inteligente e consistente qualquer tipo de melhorias. A metodologia TRIZ, como ferramenta de resolução de problemas e de inovação sistemática vem apoiar questões que possam surgir ao longo de processos de melhoria e, ou, implementação.

Numa gestão fundada em princípios *Lean*, uma das ferramentas correntemente utilizada é a padronização, uma parte integrante dos 5S's. Tal como em tudo o resto, também a gestão de projetos deve obedecer a premissas que orientem no sentido da padronização e na diminuição da variabilidade. A TRIZ, como metodologia com procedimentos bem definidos, também pode (e deve) ser incluída.

Segundo Barry (1996), todos os projetos chegam a um ponto em que a fase de análise dá-se como concluída e o passo seguinte não surge com clareza. As equipas de trabalho encarregues do projeto devem ser criativas e resilientes, mas as ferramentas como o *brainstorming* e outras semelhantes, dependem da intuição e do conhecimento dos membros das equipas. Além disso, estes métodos são tipicamente descritos pelos seus resultados imprevisíveis e sem padrão (Barry, et al., 1996).

A utilização de ferramentas como o *brainstorming* e a “tentativa e erro” têm uma grande limitação que é a incapacidade de orientar equipas para além da sua área de conhecimento. Por exemplo, um engenheiro mecânico, ao utilizar este tipo de ferramentas, vai ser orientado para uma solução no âmbito da sua formação. Por outro lado, e face ao mesmo problema, um engenheiro físico seguirá uma linha de pensamento diferente. Quando este tipo de ferramenta é utilizado dentro de um grupo multidisciplinar, esta contrapartida pode ser porventura ultrapassada. Porém, nem sempre existe essa disponibilidade (Campbell, 2003).

Num projeto como este, os atrasos nos prazos de conclusão são suscetíveis de acontecer por uma série de razões, entre as quais a dificuldade de resolução de problemas. A metodologia TRIZ revela-se um guia de trabalho “*step-by-step*” para a criação de soluções. Surge como ferramenta de auxílio a estas melhorias, não só para a melhoria de operações ou de ferramentas que evidenciem logo desperdício, mas para ambas as situações. Tem uma área de incidência extremamente diversificada e permite a aplicação rápida e fácil, tornando a abordagem e a solução de problemas rápida e padronizada, fatores essenciais na gestão de projetos. As suas ferramentas afiguram-se adequadas quando a necessidade de melhoria exige prazos reduzidos e tem a capacidade de orientar para a solução por meio de um processo inventivo bem estruturado. Não obstante, o recurso a métodos tradicionais não deve ser desconsiderado. A utilização de vários métodos em simultâneo permite obter o melhor de cada um. O *brainstorming* é essencial na rápida obtenção de informação e a TRIZ ideal no processamento desta informação.

3.3.1. Filosofia Lean

Durante o processo de implementação do TOS+ são analisados todos os postos e todas as operações, focando essencialmente em operações consideradas como desperdício (mv). Tarefas necessárias e com acrescento de valor são naturalmente desconsideradas para efeitos de melhoria de desempenho.

É de salientar que uma filosofia de gestão *Lean* visa eliminar o desperdício associado a uma atividade e acrescentar o máximo valor com os menores recursos possíveis. Para tal foram aplicados dois métodos “Os sete desperdícios” e “Os três Mu”.

Os sete desperdícios são (Womack & Jones, 2003):

- I. Defeitos;
- II. Excesso de produção;
- III. Transporte;

- IV. Tempos de espera;
- V. Excesso de *stocks*;
- VI. Movimento;
- VII. Processo inadequado.

Os três Mu (o Muda, o Mura e o Muri) visam que a capacidade de um sistema vá ao encontro da carga. O Muda refere-se ao desperdício, sendo que tudo o que não acrescenta valor deve ser eliminado ou reduzido. O Mura refere-se ao que é variável, inconsistente ou irregular. Para eliminar esta condição, sistemas JIT associados a um sistema de produção *pull* são por norma capazes de anular este desperdício. O Muri refere-se ao que não é racional e aparece na forma de excesso ou de falta. Esta condição é normalmente eliminada pela padronização de operações (Womack & Jones, 2003).

Tal como Ikovenko e Bradley constataam, o objetivo primordial é o de que todas as operações acrescentem valor. No entanto, também fortalecem a premissa de que estas operações devem ser o mais simples e eficientes possíveis de forma a maximizar a ideia anterior (Ikovenko & Bradley, 2005).

Contudo, operações que apesar de não serem consideradas desperdício pelos parâmetros de avaliação do TOS+, mas representam uma duração significativa do tempo de ciclo (categoricamente consideradas como eHPV, visto serem operações que acrescentam valor ou são tidas como necessárias), também são pertinentes e devem ser abordadas com igual sentido crítico.

Apesar de uma determinada operação ser considerada eHPV, não deixa de ser suscetível de melhoria, bem pelo contrário. Estas operações, tal como as que representam desperdício, devem ser sujeitas a uma análise continuada em que sejam procuradas alternativas que mantenham os padrões requeridos, com custos e tempos reduzidos.

3.3.2. Conceitos ergonómicos

Também no âmbito do TOS, e já referido anteriormente, estão inseridas questões ergonómicas e de Segurança Ocupacional. No caso concreto da MFTE, devido aos baixos níveis de produção, os tempos de ciclo são bastante prolongados (aquando do estudo, com 18,8 minutos). Contudo, as ferramentas existentes definem parâmetros para valores com altos níveis de repetição, o que não é o caso específico da MFTE. Além disso, a longa duração dos ciclos potencia a exposição a posturas desadequadas por longos períodos. No TOS+ *Trimming Line Project*, os problemas ergonómicos surgem essencialmente por fatores de risco físico provocado por posturas não adequadas, mais concretamente a execução de operações acima da linha dos ombros, e a duração.

4. Propostas de melhoria

No presente capítulo são apresentados dois estudos de caso com diferentes aplicações da TRIZ no quotidiano da MFTE.

O primeiro estudo de caso (a conceção do *kit*) visa integrar a Matriz de Contradições da TRIZ com métodos tradicionais e comprovar que, utilizada em simultâneo, permite alcançar os objetivos definidos de uma forma estruturada e eficiente. O segundo estudo de caso visa a eliminação de um problema originado por desadequação ergonómica existente e uma proposta de melhoria do sistema. Com recurso à Análise Substância Campo, conciliam-se os princípios do TOS e os princípios ergonómicos. Ambos os casos foram desenvolvidos na linha de revestimento (figura 4.1), sendo que o segundo caso de estudo se focou unicamente nos postos 8314RH (posto direito da linha) e 8314LH (posto esquerdo da linha).



Figura 4.1 – Linha de revestimento (perspetiva do final da linha)

4.1. Conceção do *kit* de abastecimento

Com o aumento da competitividade industrial e a difícil situação económica, a eliminação de desperdícios e o aumento da eficiência são fatores chave para acompanhar a evolução da indústria.

Um dos desperdícios identificados durante a implementação do projeto TOS+ era o deslocamento excessivo dos operadores. Este desperdício era provocado pela localização do *kit* de abastecimento em relação à cabine (figura 4.2).



Figura 4.2 – Layout da cabine e *kit* inicial

O *kit* é acoplado na linha tracionada onde também é acoplado o *trolley* que suporta a cabine, acompanhando-a durante toda a linha de revestimento (figura 3.2).

No início do projeto existiam dois *kits*, sendo que o primeiro *kit* abastecia do posto 8301 ao 8309 (figura 3.2) e o segundo *kit* abastecia do posto 8309 ao final da linha de revestimento, posto 8314 (figura 3.2).

Estes *kits* ao serem tracionados diretamente à linha, são colocados entre as cabines, originando a necessidade do operador se deslocar para selecionar os componentes, um dos sete desperdícios. A figura 4.2 representa a posição do *kit* em relação à cabine aquando da fase de análise (a figura é referente à variante com volante à direita, em que a cabine entra em linha com a frente voltada para o *kit*, situação em que se verifica maior deslocamento do operador por ter de contornar as portas).

Existem outros inconvenientes associados à existência de um *kit* segmentado, nomeadamente a necessidade de espaço no bordo de linha dedicado à substituição do primeiro pelo segundo *kit*. Consequentemente, a logística também sai prejudicada visto que isto resulta num maior número de rotas de abastecimento.

Com o objetivo de eliminar estes desperdícios foi pensada a substituição dos dois *kits* que repartem a linha, por dois *kits* dedicados a cada um dos lados da linha. Assim, ambos os *kits* acompanham a cabine ao longo de toda a linha e mantém-se ao alcance do operador.

Com o propósito de eliminar movimentações, a nova localização dos *kits* de abastecimento tem em conta a localização da zona onde são executadas as operações. Esta localização elimina também a múltipla seleção do mesmo componente, provocada pela seleção de vários componentes em simultâneo, para diminuir o número de deslocações até ao *kit*.

4.1.1. Conceção do *kit*

Sendo esta uma alteração com grande impacto no dia-a-dia das diferentes áreas operacionais da fábrica (aquando do desenvolvimento do *kit* de abastecimento), foram realizadas várias reuniões para

discussão de ideias com as diversas áreas, com o objetivo de que a concepção do *kit* fosse ao encontro de todas as necessidades.

As várias áreas operacionais revelaram-se relutantes em relação a alguns conceitos: a Manutenção revelou-se preocupada com o acoplamento do *kit* e do estrado à cabine (caso fosse aceite e implementado um estrado em simultâneo com o *kit*). A Produção revelou igual preocupação com o estrado, se o *kit* teria ou não estrado incluído e quais seriam as suas dimensões (para que o operador não tivesse que fazer parte das operações fora do estrado), se o *kit* obedeceria a questões ergonómicas e se não teria demasiado volume. A logística revelou preocupação com a altura dos níveis, com o abastecimento do *kit* por questões ergonómicas (condição partilhada com a produção), com a dimensão do *kit* por causa dos corredores dos supermercados (*buffers*), se o estrado afetaria o abastecimento do *kit*, entre vários outros problemas.

Inicialmente, idealizou-se um *kit* e estrado como um sistema único, colocado nas extremidades traseiras da cabine (extremidades esquerda e direita), permitindo que o operador com a colocação do *kit* junto da zona de trabalho do operador não tivesse a necessidade de andar para acompanhar o movimento da cabine ao longo da linha. Assim elimina-se a movimentação para seleccionar os componentes, e com a colocação de um estrado elimina-se a necessidade do operador andar para acompanhar o movimento da cabine.

Após breve discussão sobre o assunto, ficou claro que o estrado poderia trazer algumas complicações relativamente ao manuseamento do *kit*. Para a Manutenção, poderia criar instabilidade durante o movimento na linha. Para a logística, poderia limitar o acesso no abastecimento e para a Produção poderia representar um acréscimo de tempo no *setup* do manuseamento do estrado (figura 4.3).

Face a esta situação, é apresentada uma sugestão alternativa que pressupõe a utilização de um sistema “*mother-child*” (figura 4.5), mas que foi contestada por alguns. A solução seria absurda? Ou o conhecimento de cada um dos indivíduos direccionou-os para uma imagem errada do que se pretendia? De que forma é que a TRIZ reagiria a este problema?

Em resultado destas discussões surgem quatro alternativas possíveis, mas sem a certeza de qual seria a melhor.

4.1.2. Apresentação de alternativas

As alternativas possíveis são apresentadas seguidamente e procuram reunir as condições essenciais para suportar as necessidades de todas as partes envolvidas.

Alternativa 1 – *Kit* com estrado acoplado (figura 4.3).

Este conceito resulta num aumento do peso do *kit* e na necessidade de baixar e levantar o estrado (no início e fim da linha, respectivamente), o que requer tempo e manuseamento de cargas. A posição do estrado levantado também afeta a acessibilidade durante o abastecimento dos componentes.



Figura 4.3 – *Kit* e estrado acoplado

Alternativa 2 – *Kit* independente e carro de apoio com estrado (figura 4.4).

Esta alternativa permite que o estrado seja dedicado a cada operador, não sendo aplicado a todos os postos. Em contra partida, as dimensões dos postos não permitem um estrado com grandes dimensões. A nova posição do *kit* e o bordo de linha limitado por estantes, limitam bastante este conceito. À semelhança da alternativa anterior, o operador também teria de manusear o estrado.

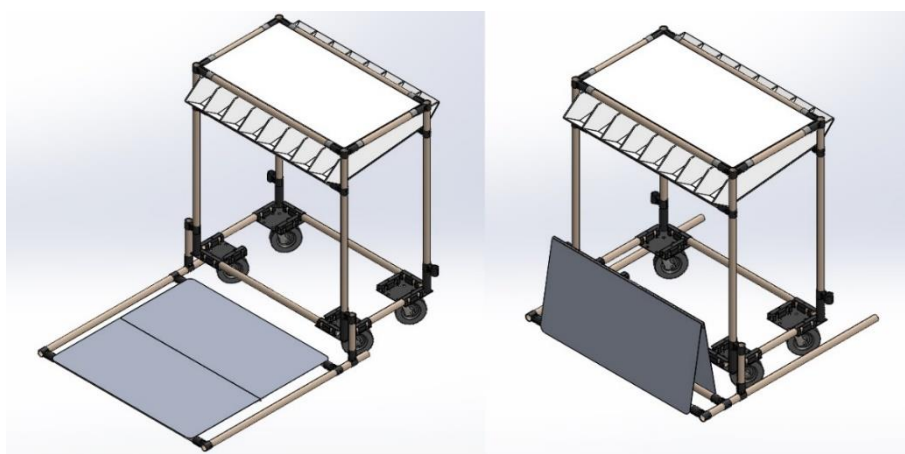


Figura 4.4 – Carro de apoio com estrado acoplado

Alternativa 3 – Estrado e *kit* independentes, com sistema de acoplamento tipo *E-frame* (figura 4.5).

Esta alternativa permite o rápido acoplamento do *kit* ao estrado. O estrado encontra-se sempre no chão e acompanha a cabine ao longo da linha, não afetando a acessibilidade durante o abastecimento do *kit*. Esta alternativa exige uma rota adicional face às restantes, visto que tanto o *kit* como o estrado têm de ser transportados.

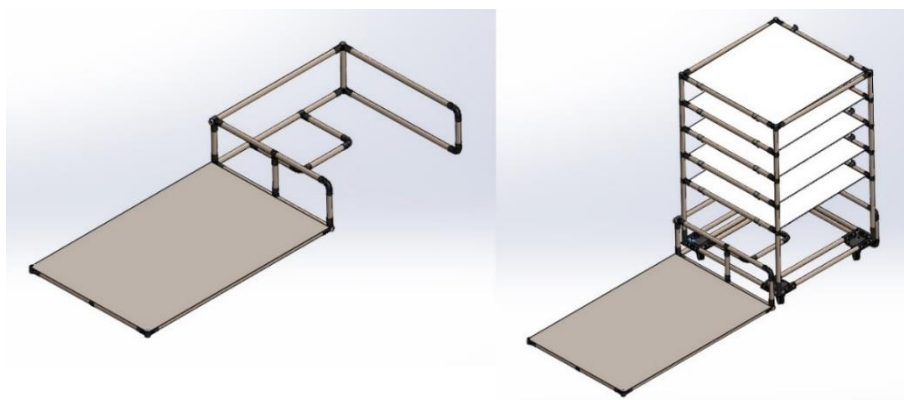


Figura 4.5 – Estrado com sistema *E-frame*

Alternativa 4 – Estrado e *kit* independentes, com estrado dedicado a cada posto de trabalho caso necessário (figura 4.6).

Esta alternativa permite que cada elemento seja concebido para a sua função e à semelhança da segunda alternativa, atribui um estrado caso necessário. Este cobre uma maior área de trabalho e terminado o ciclo de trabalho permite que seja rebatível e passe por debaixo do *kit*.

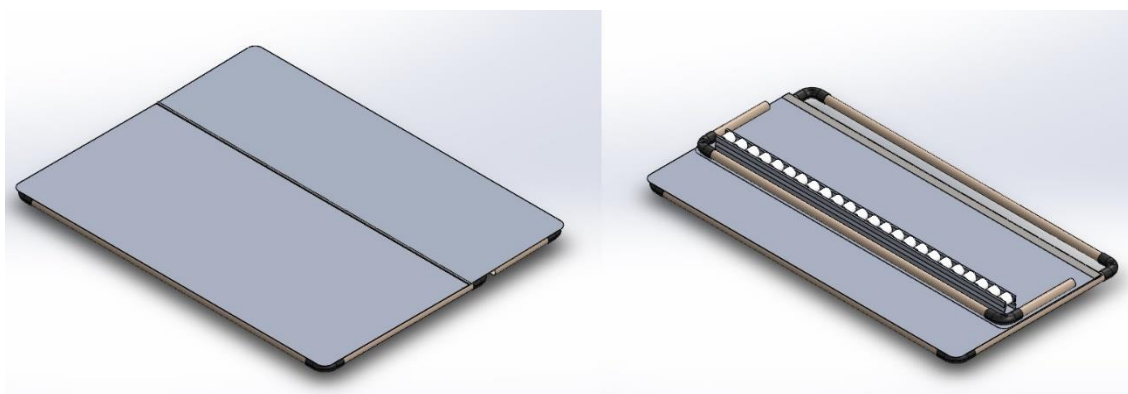


Figura 4.6 – Estrado rebatível

Formulação do problema

O *kit* tem que estar localizado ao alcance do operador, obedecer a questões ergonómicas, ter uma dimensão suficiente para suportar as peças definidas para este tipo de abastecimento (sem interferir com a execução das operações ao longo da linha), ser fácil de manobrar, e por fim, o tracionamento do *kit* tem de permitir ser puxado ou empurrado.

A posição idealizada para o *kit* tem em conta a localização da maioria das operações relativamente à cabine e, à imagem do que acontece com o *kit* inicial, este também acompanha o movimento da cabine. A cabine continua a ser movimentada por uma linha tracionada, mas na situação inicial o *kit* é acoplado diretamente à linha tracionada. Neste caso, o deslocamento dos *kits* é por acoplamento ao *trolley* da cabine.

Facilmente se percebe que a situação inicial do *kit* (figura 4.1) tem uma série de desvantagens e caminha no sentido da criação de desperdício. A distância ao operador é a característica que mais evidencia esta condição. Por outro lado, questões ergonómicas também não são tidas em consideração e são selecionados componentes fora da zona recomendada (Daimler AG, 2013).

Assim, o novo conceito deve obedecer aos seguintes parâmetros:

- Peso reduzido;
- Capacidade para todas as peças;
- Ergonómico;
- Deslocar-se ao longo da linha;
- Dimensão reduzida;
- Estável.

Assim, com estes dados, é possível construir a matriz de idealidade, que vai permitir identificar interações entre os parâmetros referidos anteriormente que possam surgir na conceção do novo *kit*.

4.1.3. Matriz de idealidade

A matriz de idealidade (tabela 4.1) tem como objetivo identificar o tipo de interações que podem ocorrer entre os parâmetros pretendidos. Estas podem ser negativas (representadas pelo sinal “-”), positivas (representadas pelo sinal “+”) ou podem não existir interações. Verificando-se a existência de interações negativas procede-se a aproximação à Matriz de Contradições e anulam-se as interações por aplicação dos princípios inventivos sugeridos pela ferramenta.

Tabela 4.1 – Matriz de idealidade com as interações

	1. (Menos) Peso	2. (Mais) Capacidade Carga	3. (Mais) Ergonomia	4. (Mais) Manobrabilidade	5. (Menos) Volume	6. (Mais) Estabilidade
1. (Menos) Peso		-		+	+	-
2. (Mais) Capacidade Carga	-			-	-	-
3. (Mais) Ergonomia				+	-	
4. (Mais) Manobrabilidade	+	-	+		+	
5. (Menos) Volume	+	-	-	+		+
6. (Mais) Estabilidade	-	-			+	

Analisando a matriz de idealidade, podem-se identificar várias interações negativas:

- 1- Peso → Capacidade de carga e Estabilidade;
 - A redução do peso representa a diminuição da capacidade de suportar a mesma carga e com a carga completa (sendo o *kit* mais leve) torna-se mais fácil alterar o centro de massa e assim criar instabilidade.
- 2- Capacidade de carga (área) → Peso, Manobrabilidade, Volume e Estabilidade;
 - O aumento da capacidade de carga representa o aumento do peso e dimensões (volume), que consequentemente aumenta a dificuldade de manobrar e a estabilidade.
- 3- Ergonomia → Volume;
 - A conceção de um *kit* ergonómico implica que determinadas zonas não possam ser utilizadas (por representarem um risco físico para o operador), colocando limitações às dimensões.
- 4- Manobrabilidade → Capacidade de carga;

- Considerando que a manobrabilidade representa a facilidade com que este pode ser movimentado, o aumento da capacidade de carga significa um aumento do peso e consequentemente um aumento da dificuldade de manuseamento.
- 5- Volume → Capacidade de carga e Ergonomia;
- A redução do volume tem impacto na capacidade de carga que diminui, e na ergonomia que obriga o operador a selecionar ou colocar componentes fora da zona neutra.
- 6- Estabilidade → Peso e Capacidade de carga;
- O aumento de estabilidade representa um aumento do peso e a diminuição da capacidade de carga (preservar o centro de massa do *kit* aquando vazio ou carregado)

O passo seguinte consiste na eliminação destas interações negativas. Para o conseguir, é necessário aproximar as características pretendidas aos 39 Parâmetros de Engenharia.

Aproximação dos parâmetros definidos aos 39 Parâmetros de Engenharia

Definidos os parâmetros e identificadas as interações negativas, segue-se a adaptação à Matriz de Contradições. Para cada um dos parâmetros é possível corresponder um dos 39 Parâmetros de Engenharia (apresentados na secção 2.2.1).

Peso → 1. Peso (objeto móvel)

Peso (objeto móvel) porque o *kit* se movimenta ao longo da linha e, entre a linha e o supermercado.

Capacidade de carga → 26. Quantidade de matéria

Quantidade de matéria porque procura incluir o maior número de elementos no sistema (neste caso componentes abastecidos à linha de revestimento).

Ergonomia → 35. Adaptabilidade

Adaptabilidade para permitir que o *kit* consiga assumir várias formas, nomeadamente permitir o acesso a zonas mais distantes, como o fundo dos vários níveis.

Manobrabilidade → 19. Energia dispensada (objeto móvel)

Energia dispensada (objeto móvel) por ser manobrado não só por equipamentos, mas também por operadores (procura uma condição ergonómica mais favorável, com a aplicação de menos força quando empurrado).

Volume → 7. Volume (objeto móvel)

Volume (objeto móvel) porque tanto em movimento na linha, como em movimento nos corredores dos pontos de abastecimento (supermercados), o volume é uma característica fundamental.

Estabilidade → 13. Estabilidade do objeto

Estabilidade do objeto porque o *kit* pode ser puxado ou empurrado, ou ter que rodar em torno da cabine.

Feita a adaptação, é agora possível contruir a matriz de contradições adaptada à matriz de idealidade, aplicada à concepção do *kit* (tabela 4.2), nesta tabela são apresentados os parâmetros de engenharia ordenados em função do número atribuído por Altshuller (apresentando uma ordem diferente da matriz de idealidade).

Tabela 4.2 – Matriz de contradições adaptada ao caso em estudo

	1. Peso (objeto móvel)	7. Volume (objeto móvel)	13. Estabilidade do objeto	19. Energia dispensada (objeto móvel)	26. Quantidade de matéria	35. Adaptabilidade
1. Peso (objeto móvel)			1, 35, 19, 39		3, 26, 18, 31	
7. Volume (objeto móvel)					29, 30, 7	15, 29
13. Estabilidade do objeto	21, 35, 2, 39				15, 32, 35	
19. Energia dispensada (objeto móvel)					34, 23, 16, 18	
26. Quantidade de matéria	35, 6, 18, 31	15, 20, 29	15, 2, 17, 40	34, 29, 16, 18		
35. Adaptabilidade		15, 35, 29				

Analisando a tabela 4.2, é possível identificar-se o conjunto de princípios inventivos, apresentados por Altshuller, necessários para eliminar as contradições técnicas. Como estes princípios podem não representar uma solução adequada ou indicada para o problema, torna-se necessário avaliar e selecionar os que são aplicáveis neste caso concreto.

Conjunto de princípios inventivos por interação negativa:

Visto que nem todos os princípios inventivos apresentados na tabela 4.2 podem representar uma solução concreta para o caso em estudo, surge a necessidade de avaliar a sua adaptação. Os seguintes conjuntos de princípios (referidos na secção 2.1.2) que resultam da matriz de contradições adaptada, e com aparente aplicação no caso em estudo, são evidenciados com formatação a negrito.

(1) Peso (objeto móvel) – (13) Estabilidade do objeto:

1 – Segmentação;

35 – Transformação do estado físico e químico do objeto;

19 – Ação periódica;

39 – Ambiente inerte.

(1) Peso (objeto móvel) – (26) Quantidade de matéria:

3 – Qualidade Local;

26 – Cópia;

18 – Vibração mecânica;

31 – Utilização de material poroso.

(7) Volume (objeto móvel) – (26) Quantidade de matéria:

29 – Construção pneumática ou hidráulica;

30 – Membranas flexíveis ou película fina (prateleiras em rede);

7 – Nesting.

(7) Volume (objeto móvel) – (35) Adaptabilidade:

15 – Dinamismo;

29 – Construção pneumática ou hidráulica.

(13) Estabilidade do objeto – (1) Peso (objeto móvel):

21 – Acelerar processo;

35 – Transformação do estado físico e químico do objeto;

2 – Extração;

39 – Ambiente inerte.

(13) Estabilidade do objeto – (26) Quantidade de matéria:

15 – Dinamismo;

32 – Alteração de cor;

35 – Transformação do estado físico e químico do objeto.

(19) Energia dispensada (objeto móvel) – (26) Quantidade de matéria:

34 – Rejeitar e regenerar peças;

23 – *Feedback*;

16 – Ação parcial ou exagerada (abastecimento ao longo da linha);

18 – Vibração mecânica.

(26) Quantidade de matéria – (1) Peso (objeto móvel):

35 – Transformação do estado físico ou químico;

6 – Universalidade;

18 – Vibração mecânica;

31 – Utilização de material poroso.

(26) Quantidade de matéria – (7) Volume (objeto móvel):

15 – Dinamismo;

20 – Continuidade de uma ação útil;

29 – Construção pneumática ou hidráulica.

(26) Quantidade de matéria – (13) Estabilidade do objeto:

15 – Dinamismo;

2 – Extração;

17 – Movimentar para outro plano;

40 – Utilizar materiais compósitos.

(26) Quantidade de matéria – (19) Energia dispensada (objeto móvel):

34 – Rejeitar e regenerar peças;

29 – Construção pneumática ou hidráulica;

16 – Ação parcial ou exagerada (abastecimento ao longo da linha);

18 – Vibração mecânica.

(35) Adaptabilidade – (7) Volume (objeto móvel):

15 – Dinamismo;

35 – Transformação do estado físico e químico do objeto;

29 – Construção pneumática ou hidráulica.

Considerando todos os princípios inventivos indicados pela matriz de contradição adaptada adequados ao caso, pode-se constatar que os princípios inventivos “15-Dinamismo” e “29 – Construção pneumática ou hidráulica” são referidos cinco vezes. Esta frequência pode indiciar a sua adequação à resolução do problema. Assim verifica-se que o número de constatações de cada princípio vem reforçar a seleção anterior. Atendendo aos princípios identificados na matriz de contradições adaptada, a tabela 4.3 apresenta os princípios inventivos por ordem decrescente de número de observações.

Tabela 4.3 – Frequência de identificação por princípios inventivos

Princípios inventivos	N.º de observações
15 Dinamismo	5
29 Construção pneumática/hidráulica	5
35 Transformação do estado físico ou químico	5
18 Vibração mecânica	4
16 Ação parcial ou exagerada	2
31 Utilização de material poroso	2
34 Rejeitar e regenerar peças	2
39 Ambiente inerte	2
2 Extração	2
1 Segmentação	1
3 Qualidade Local	1
6 Universalidade	1
7 Nesting	1
17 Movimentar para outro plano	1
19 Ação periódica	1
20 Continuidade de uma ação útil	1
21 Acelerar processo	1
23 <i>Feedback</i>	1
26 Cópia	1
30 Membranas flexíveis ou película fina	1
32 Alteração de cor	1
40 Utilizar materiais compósitos	1

Como se pode constatar, só quatro dos princípios selecionados presentes na tabela 4.3 têm uma frequência igual a um. Os restantes selecionados surgem um maior número de vezes, confirmando a premissa anterior. Também surgem com maior frequência alguns princípios inventivos não selecionados, mas são facilmente desconsiderados pela falta de compatibilidade com o caso em questão.

Os princípios inventivos que são selecionados têm influência direta na melhoria de pelo menos um dos parâmetros inicialmente definidos, tal como se pode observar na tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Princípios inventivos aplicados à melhoria de cada parâmetro

	Menor Peso	Maior Capacidade de Carga	Melhor Ergonomia	Melhor Manobrabilidade	Menor Volume	Maior Estabilidade
N.º do Princípio Inventivo	1, 3, 31 e 40	6, 15, 16 e 29	15 e 29	16	7, 15 e 30	2

Todos os princípios identificados na tabela 4.4 podem ter uma aplicação diferente em função do problema. Nesta fase, torna-se importante perceber o significado de cada princípio e de que forma pode ser aplicado.

A seguinte lista apresenta os princípios inventivos de forma detalhada e a possível aplicação prática no caso em estudo (Terninko & Zusman, 1998):

1 – Segmentação:

- Dividir objeto em partes independentes;
- Aumentar o grau de segmentação do objeto.

Aplicação prática: **Dividir *kit*, carro de apoio e estrado.**

2 – Extração:

- Remover ou separar componente ou propriedade que causa distúrbio;
- Extrair o único componente ou propriedade necessária.

Aplicação prática: **Remover o estrado.**

3 – Qualidade Local:

- Promover a transição de uma estrutura homogénea de um objeto, para uma estrutura heterogénea;
- Ter diferentes componentes/partes com funções específicas;
- Colocar cada uma das partes nas condições mais favoráveis para funcionamento.

Aplicação prática: **Conceber cada elemento para a sua função.**

6 – Universalidade:

- Ter um objeto que execute múltiplas funções, desta forma eliminando a necessidade de outros objetos.

Aplicação prática: **Carro de apoio capaz de suportar as necessidades de todos os postos.**

7 – *Nesting* (matrioska):

- Conter objeto no interior de outro, que pode ser colocado no interior de outro;
- Um objeto que passa por dentro da cavidade de outro objeto.

Aplicação prática: **Desenho de um carro de apoio capaz de se integrar no *kit*.**

15 – Dinamismo:

- Fazer características de um objeto ou ambiente exterior adaptarem-se automaticamente para otimização a cada estado da operação;
- Dividir objeto em elementos capazes de mudar posição relativamente a outros;
- Se o objeto não for móvel, faça-o móvel ou substituível.

Aplicação prática: **Aplicação de níveis do *kit* deslizantes (tipo gaveta).**

16 – Ação parcial ou exagerada:

- É difícil obter um resultado 100% desejado, alcançar um resultado próximo para simplificar o problema.

Aplicação prática: **Reabastecimento ao longo da linha de montagem.**

29 – Construção pneumática ou hidráulica:

- Substituir partes sólidas por pneumáticas ou hidráulicas. Pode-se usar ar ou água para insuflar, ou para amortecimento hidrostático.

Aplicação prática: **Instalação de um sistema basculante.**

30 – Membranas flexíveis ou película fina:

- Substituir a construção normal por uma membrana flexível e/ou película fina.

Aplicação prática: **Níveis do *kit* feitos de rede.**

31 – Utilização de material poroso:

- Tornar um objeto poroso ou adicionar elementos porosos.

Aplicação prática: **Utilização de PVC expandido nos níveis do *kit*.**

40 – Utilizar materiais compósitos:

- Trocar materiais homogêneos por compósitos de plástico e/ou fibras de carbono.

Aplicação prática: **Utilizar compósitos na construção do *kit*.**

Neste caso, a aplicação prática de cada princípio orienta fundamentalmente para um conceito de um *kit* simples (sem estrado acoplado), com objetos móveis e construído com materiais resistentes mas leves.

Aplicação de princípios inventivos apresentados

Um dos princípios apresentado visa a extração. No caso em estudo, o estrado foi o elemento que criou mais conflitos entre as diferentes áreas operacionais, e em função disso é analisado se é realmente necessário ter um estado dedicado a cada posto.

Tendo como base a análise de documentos e ferramentas específicas a cada um dos postos, nomeadamente diagramas de *spaghetti* e de Folhas de Trabalho Padrão (FTP), consegue-se fazer uma previsão de ocupação do estrado por posto (tabela 4.5 e figura 4.7).

Tabela 4.5 – Previsão de ocupação do estrado por posto

Posto	Duração (s)		% Do tempo de ciclo	
	RH	LH	RH	LH
8301	176	0	16%	0%
8302	0	0	0%	0%
8303	990	953	88%	84%
8304	0	0	0%	0%
8305	0	0	0%	0%
8306	0	0	0%	0%
8307	308	531	27%	47%
8308	0	0	0%	0%
8309	586	774	52%	69%
8310	0	443	0%	39%
8311	325	0	29%	0%
8312	0	282	0%	25%
8313	126	90	11%	8%
8314	0	0	0%	0%
Ocupação do estrado ao longo da linha de revestimento:			16%	19%

Apesar dos postos 8314RH e 8314LH estarem ocupados, a aplicação de um estrado não traz qualquer vantagem visto que é o único posto onde a cabine se encontra imobilizada. Por esta razão, a ocupação prevista apresentada na tabela 4.5 é considerada zero.

Já a ocupação total do estrado foi calculada em função do somatório de operações executadas na zona do estrado para cada um dos lados da linha, em função do tempo total (representado pela multiplicação dos 14 postos pelo tempo de cada ciclo, 1128 segundos).

Em função destes dados conclui-se que não se justifica a utilização de um estrado que acompanhe o movimento da cabine ao longo da linha. Porém, existem quatro postos de trabalho com uma previsão de ocupação que justificaria a sua implementação (figura 4.7), o que invalida duas das alternativas anteriores, restando apenas as alternativas dois e quatro.

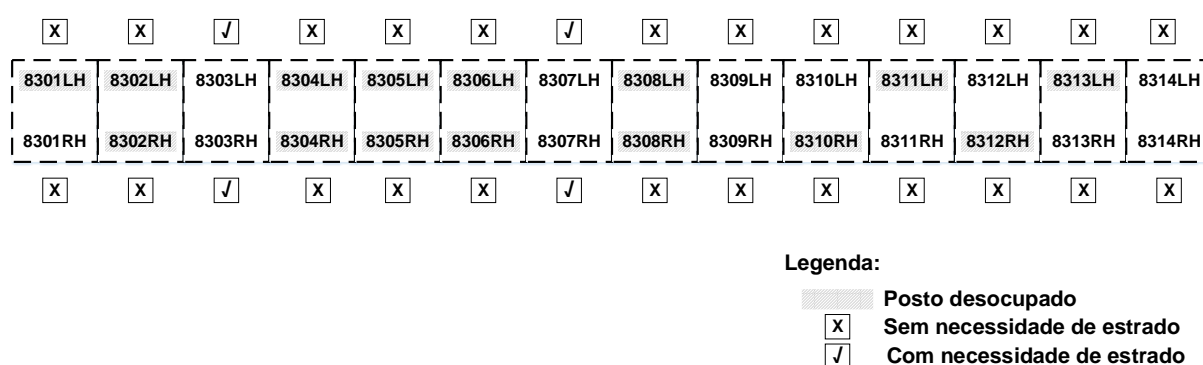


Figura 4.7 – Esquema de necessidade de estrado por posto da linha de revestimento

O facto do operador não ter de se movimentar com a implementação do estrado, fica sujeito a um fator de risco por manter a mesma postura durante demasiado tempo. Posturas que obrigam à permanência estática dos membros inferiores podem resultar no aumento da probabilidade do operador sofrer uma LMERT. Os operadores de postos de trabalho que não exigem deslocamento estão mais predispostos a desenvolver dormência nos pés, inchaço das pernas, varizes, cansaço muscular, dor na coluna (nomeadamente lombalgias), entre outros problemas de saúde (CCOHS, 2014).

É de salientar que as operações correspondentes aos postos 8303RH, 8303LH, 8307RH e 8307LH não se tratam de operações com um nível elevado de precisão e que a velocidade a que se desloca a cabine (4,5 metros em 18,8 minutos), não impossibilita uma realização cuidada das mesmas. Esta condição permite que a aplicação do estrado não seja necessária, invalidando qualquer alternativa que considere o estrado.

Em contra partida, e numa possível condição futura, o aumento em comprimento dos postos de trabalho (de 4,5 metros para 9 metros) da linha de revestimento, encaminharia para uma outra solução e, possivelmente, alguns ganhos, desde a redução de *work-in-progress*, à diminuição do tempo da cabine na linha de revestimento (melhoria do *lead time*). O facto de existirem tantos postos desocupados faz com que a cabine se encontre na linha durante uma parte significativa do tempo sem ser sujeita a qualquer operação, ou por outras palavras, sem ser sujeita a operações que acrescentem valor.

4.1.4. Solução apresentada

Com base numa das alternativas iniciais e aplicando os princípios de invenção indicados pela matriz de contradições adaptada, pode-se desenvolver um conceito “ideal” para o *kit*. É de salientar que um dos princípios já foi aplicado com a extração do estrado. Os restantes princípios e respetivas aplicações podem ser observados na tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Resumo de princípios inventivos aplicados à alternativa escolhida

Dinamismo:	Níveis do <i>kit</i> dinâmicos (tipo gavetas)
Ação parcial ou exagerada:	Possibilidade de reabastecimento durante deslocamento do <i>kit</i> na linha
Utilização de material poroso:	PVC expandido fino ou utilização de alumínio
Segmentação:	Estrado, carro de apoio e <i>kit</i>
Extração:	Remoção do estrado
Qualidade Local:	Carro de apoio e <i>kit</i> concebidos para funções distintas
Nesting:	<i>Kit</i> e carro de apoio com possibilidade de acoplamento

Na figura 4.8 pode-se observar o *kit* que resultou do estudo elaborado. Um conceito com a aplicação dos princípios inventivos adaptados ao material disponível na MFTE.



Figura 4.8 – *Kit* final

Dinâmica entre *kit* e carro de apoio

Com a análise anterior, conclui-se que a qualidade local, segmentação e “*nesting*” indiciam a conceção de elementos independentes (*kit* e carro de apoio) mas sinérgicos.

O carro de apoio tem como finalidade suportar o operador no decorrer das operações, tanto para servir de suporte às ferramentas necessárias ao longo do ciclo, como a componentes e consumíveis. O *layout* dos postos com a implementação de um *kit*, que ocupa a maior parte do espaço entre a cabine e o bordo de linha (não esquecendo que a cabine é revestida com as portas montadas e normalmente abertas), deixa pouco espaço para poder ter mais um elemento. Neste sentido, foi desenvolvido um carro de apoio que permite *nesting* (figura 4.9).



Figura 4.9 – Dinâmica entre *kit* e carro de apoio (*nesting*)

Este conceito permite manter uma área suficiente para o operador se movimentar e ao mesmo tempo conservar a maioria da superfície do tampo do carro de apoio (devido ao desenho tipo anfiteatro do *kit*). Este desenho permite ainda o abastecimento de componentes e ferramentas. O princípio de abastecimento de peças/consumíveis em secções dispostas na vertical surge do princípio de armazenamento de *stock* em altura, preservando a área do tampo para outras finalidades.

Em suma, o resultado final consiste num sistema composto por dois elementos distintos, o carro de apoio e o *kit*. Cada cabine é abastecida por dois *kits* em simultâneo, sendo estes acoplados a cada um dos lados da cabine, e permitindo que qualquer operador, tanto do lado esquerdo como direito, passe a ter acesso ao *kit* ao alcance do próprio braço. A figura 4.10 mostra a posição dos dois *kits* em relação à cabine.



Figura 4.10 – Layout com o novo conceito de *kit*

4.2. Eliminação da falta de adequação ergonómica no posto 8314 RH

No seguimento do resultado obtido de uma análise ergonómica executada por uma entidade externa à linha do revestimento (linha piloto da implementação do TOS+) com recurso ao método RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*, em português, método de Avaliação Rápida dos Membros Superiores), foram identificados fatores de risco no posto 8314RH (figura 3.2).

Através da análise dos vários fatores de risco, o método RULA devolve um valor que está compreendido em quatro níveis de prioridade de intervenção (tabela 4.7). Estes níveis ditam a necessidade de alteração das condições de trabalho (McAtamney & Corlett, 1993).

Tabela 4.7 – Níveis de ação do método RULA

Nível de ação	Nível de risco de lesões músculo-esqueléticas
1	Risco insignificante, sem ação necessária
2	Risco reduzido, ação poderá ser necessária
3	Risco médio, investigar, mudança a curto prazo
4	Risco muito elevado, implementar alterações com urgência

Por meio deste método, o valor do resultado obtido no posto 8314RH está compreendido no nível 3, o que representa um risco médio, com necessidade de analisar e proceder a melhorias a curto prazo.

4.2.1.Caraterização do posto 8314RH

Localizado no final da linha de revestimento, o posto de trabalho 8314RH tem como tarefa as seguintes operações:

1. Movimentar cabine para o *jig* da película;
2. Montar parafusos no tejadilho;
3. Montar farolim do tejadilho;
4. Montar película do tejadilho;
5. Movimentar cabine para o posto elevado;
6. Arrumar carro de transporte da cabine;
7. Encaixar cabine no *gabarit*;
8. Fixar os bancos;
9. Colocar tapa furos;
10. Montar apoio de pé;
11. Montar guarda-lamas;
12. Colocar autocolante *BlueTec*;
13. Montar resguardo inferior;
14. Fixar cablagem principal;
15. Montar guias;
16. Fixar pedais;
17. Montar depósito de vácuo;
18. Preencher documentação;
19. Teste de estanquicidade;
20. Pré-montagem do tanque de vácuo.

Estas operações são executadas com a cabine em duas posições distintas. Na primeira posição, onde são executadas as primeiras quatro operações (referidas no parágrafo anterior), a cabine é colocada sob uma estrutura que permite a realização das operações no topo da cabine (figura 4.11).



Figura 4.11 – Posto de trabalho sobre a cabine (posto 8314)

As restantes operações do posto 8314RH são executadas com a cabine numa posição elevada, de forma a permitir o acesso à parte inferior da cabine (figura 4.12).



Figura 4.12 – Posto com cabine elevada (posto 8314)

Esta posição com a cabine elevada, obriga o operador a trabalhar sob a cabine e, consequentemente, a desempenhar operações com os membros superiores acima do nível da linha dos ombros e com extensão do pescoço, nomeadamente durante as seguintes operações:

- Fixar os bancos;
- Colocar tapa furos;
- Montar apoio de pé;
- Montar guarda-lamas;
- Colocar autocolante *BlueTec*;
- Montar resguardo inferior;
- Fixar cablagem principal;
- Montar guias;
- Fixar pedais;
- Montar depósito de vácuo.

O foco nas operações desempenhadas sob a cabine deve-se ao facto de serem as únicas que apresentam fatores de risco, nomeadamente operações desempenhadas acima do nível da cabeça. As restantes, como o trabalho sobre a cabine ou movimentação de cargas, desde que desempenhadas como descritas na documentação do posto, não representam fatores de risco. Assim, em função do resultado obtido (nível de ação 3, tabela 4.7) torna-se necessário analisar cada uma das operações listadas no parágrafo anterior.

Análise de operações

A primeira operação executada nestas condições é a fixação dos bancos (figura 4.13).



Figura 4.13 – Fixação dos bancos (altura normal)

Como se pode verificar na figura 4.13, o operador apresenta uma postura desadequada, com os braços acima do nível da linha dos ombros, ombros elevados e extensão do pescoço. Todos estes fatores de risco.

A operação seguinte é a colocação de tapa furos (figura 4.14).



Figura 4.14 – Colocação de tapa furos (altura normal)

À semelhança do que acontece na operação anterior, o operador está sujeito aos mesmos fatores de risco com uma postura desadequada, típica de operações desempenhadas acima do nível da cabeça.

A operação seguinte é a de colocação do apoio de pé (figura 4.15).



Figura 4.15 – Montagem do apoio de pé (posto 8314RH)

O operador assume uma postura menos desadequada do que as anteriores. O pescoço está numa posição neutra e os ombros não se encontram elevados, mas opera acima da linha dos ombros.

A operação seguinte é a montagem do guarda-lamas (figura 4.16).



Figura 4.16 – Montagem do guarda-lama (posto 8314RH)

Esta operação, tal como as duas primeiras analisadas, é desempenhada acima do nível da cabeça, o que gera extensão do pescoço, membros superiores acima do nível dos ombros e ombros elevados.

A operação seguinte é a colocação do autocolante *BlueTec* (figura 4.17).



Figura 4.17 – Colocação do autocolante *BlueTec* (posto 8314RH)

Esta operação é a que exige mais precisão mas também apresenta alguns fatores de risco, como as mãos acima da linha dos ombros. Por questões de qualidade, a colocação do autocolante deve ser efetuada ao nível dos olhos, mas como a exposição a esta postura não é prolongada, não representa um fator de risco.

A operação seguinte é a montagem do resguardo inferior (figura 4.18).



Figura 4.18 – Montagem do resguardo inferior (posto 8314RH)

Esta operação apresenta todos os fatores de risco identificados nas anteriores. Extensão do pescoço, típico de uma operação executada acima do nível da cabeça, membros superiores acima do nível dos ombros e ombros elevados.

A operação seguinte é a fixação da cablagem principal (figura 4.19).



Figura 4.19 – Fixação da cablagem principal (posto 8314RH)

Verificam-se mais uma vez os fatores de risco inerentes a uma operação localizada acima do nível da cabeça. Extensão do pescoço, membros superiores acima do nível dos ombros e ombros elevados.

A operação seguinte é a de montagem das guias (figura 4.20).



Figura 4.20 – Montagem das guias (posto 8314RH)

Nesta operação, identifica-se uma extensão lateral do tronco, não provocado pela posição da cabine mas por uma prática danosa, possivelmente devido à falta de formação.

A operação seguinte é a fixação dos pedais (figura 4.21).



Figura 4.21 – Fixação dos pedais (posto 8314RH)

Mais uma vez verificam-se os mesmos fatores de risco. Extensão do pescoço, membros superiores acima do nível dos ombros e ombros elevados.

A última operação analisada é a montagem do depósito de vácuo (figura 4.22).



Figura 4.22 – Montagem do depósito de vácuo (posto 8314RH)

Esta operação não aparenta representar um fator de risco. A operação é executada a baixo do nível dos ombros.

Em resumo, verificaram-se seis operações em que o operador está sujeito a uma postura desadequada. Esta condição é provocada pela posição elevada da cabine, o que resulta em operações executadas acima do nível da cabeça.

4.2.2. Formulação do problema

No posto 8314RH são executadas seis operações que têm um problema por falta de adequação ergonômica, visto que são maioritariamente executadas acima do nível da cabeça.

Para eliminar este problema já existe uma solução. Tratando-se da indústria automóvel e não sendo a única fábrica desta indústria, este tipo de problema é até bastante comum, e a solução consiste na instalação de um sistema basculante (figura 4.23). Contudo, por representar um investimento demasiado alto, não representa uma solução para este caso prático.



Figura 4.23 – Exemplo de sistema basculante (ADP, 2015)

Como o problema subsiste, recorre-se à TRIZ. Segundo o modelo de resolução de problemas (figura 2.1) apresentado pela TRIZ no subcapítulo 2.1, o primeiro passo para resolver um problema específico é torná-lo genérico. Neste caso, o problema específico é provocado por uma falta de adaptação do posto 8314 RH ao seu operador. A representação genérica do problema pode ser apresentada por meio da Análise Substância Campo. O primeiro passo para o tornar num problema genérico consiste em adaptar o problema à Análise Substância Campo, especificando as substâncias “ s_1 ” e “ s_2 ”, e o campo “ f ”. Assumindo que “ s_1 ” representa a cabine antes de entrar no posto 8314 e que “ s_2 ” representa a cabine após o posto 8314, pode-se assumir que o campo “ f ” representa todas as operações associadas aos postos 8314RH e 8314LH. No entanto, este campo “ f ” provoca um efeito colateral

negativo (o problema por falta de adaptação ergonómica), ou seja, o sistema está completo mas com um efeito indesejado.

Completado o primeiro passo, pode-se então construir o modelo Substância Campo referente ao problema genérico (figura 4.24).

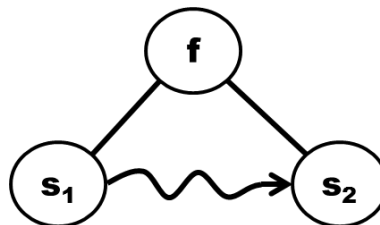


Figura 4.24 – Modelo Substância Campo do problema do posto 8314RH

Para eliminar o efeito negativo no sistema, as 7 Soluções Gerais orientam para a alteração de uma das substâncias “s₁” ou “s₂”, ou do campo “f”. Neste caso, não há a possibilidade de alterar nenhuma das substâncias, já que alterar a cabine resultaria num problema maior. Portanto, a primeira alteração ao sistema incide no campo “f”

4.2.3. Análise Substância Campo

Primeira alteração ao sistema

Considerando que o problema é provocado pela posição da cabine e que existem seis operações executadas acima do nível dos ombros do operador, a primeira alteração ao sistema consiste na redução da altura da posição da cabine.

Para o trabalho desempenhado no chão com a cabine elevada, são então sugeridas duas posições diferentes em função do eixo vertical. É então sugerida uma posição inicial (com uma altura reduzida) que permita que a execução das operações com posturas consideradas desadequadas na posição “normal” da cabine, para que estas possam ser executadas sem a presença de fatores de risco. A segunda posição (com a altura “normal”) permitiria continuar a executar as restantes operações sem fatores de risco.

Para confirmar a possibilidade desta alteração é necessário executar um ensaio, que consiste na redução de 30 cm de altura na posição da cabine. A razão de ser 30 cm deve-se ao facto destas operações se realizarem em média a cerca de 30 cm acima do nível da cabeça do operador e também do *gabarit* dianteiro (figura 4.25) estar preparado para operar a essa altura (utilizada na montagem de um versão anterior).



Figura 4.25 – Adaptação do *gabarit* ao ensaio no posto 8314

Ensaio de redução de 30 cm de altura na posição da cabine

Como as posturas analisadas no posto 8314RH demonstraram que a origem do problema reside na posição demasiado elevada da cabine, a redução surge naturalmente. Desta forma, para confirmar se a suposição está correta, executa-se um ensaio em que a posição da cabine é reduzida 30 cm em função do eixo vertical. Esta confirmação é feita através da comparação das operações executadas à altura “normal”, com as operações executadas à altura do ensaio.

Neste ensaio, as operações são realizadas por uma ordem diferente. Atendendo a que seis das operações anteriores apresentavam posturas desadequadas para o operador e quatro delas não, a apresentação de resultados reúne num primeiro conjunto as seis operações consideradas desadequadas e em seguida o restante conjunto de operações.

As operações incluídas no primeiro grupo apresentam os mesmos fatores de risco para o operador. Operações executadas acima do nível da cabeça que provocam a extensão do pescoço, a operação dos membros superiores acima do nível dos ombros e ombros elevados. As operações que constituem o primeiro grupo são:

- Fixar os bancos;
- Colocar tapa furos;
- Montar guarda-lamas;
- Montar resguardo inferior;
- Fixar cablagem principal;
- Fixar pedais.

A primeira operação analisada é a fixação dos bancos (figura 4.26).



Figura 4.26 – Fixação dos bancos à altura do ensaio (8314RH)

Neste caso, observa-se o ganho de adequação ergonômica face à situação anterior (figura 4.13). O pescoço assume uma posição neutra e os braços não excedem o nível dos ombros.

A operação seguinte é a colocação de tapa furos (figura 4.27).



Figura 4.27 – Colocação de tapa furos à altura do ensaio (8314RH)

Esta posição também revela melhorias. Porém, o operador assume uma postura desadequada com uma ligeira extensão lateral do tronco e do pescoço. Este tipo de comportamento deve-se essencialmente à falta de formação de boas práticas que sugerem a flexão dos membros inferiores para contrariar a extensão lateral do tronco e do pescoço. Esta postura também é resultado da forma como é executada esta operação em condições “normais” pois o operador procura ter a mesma

perspetiva da operação que tinha anteriormente, compensando a redução de altura da posição da cabine, com a extensão do tronco e do pescoço.

A operação seguinte é a montagem do guarda-lamas (figura 4.28)



Figura 4.28 – Montagem do guarda-lamas à altura do ensaio (8314RH)

Esta operação apresenta as mesmas características da operação anterior (figura 4.27). Apesar da posição da cabine se adequar melhor à estatura do operador, este assume novamente uma postura desadequada com a extensão lateral do tronco e do pescoço. A causa é idêntica, falta de formação e a procura pela mesma perspetiva visual da operação.

A operação seguinte é a montagem do resguardo inferior (figura 4.29).



Figura 4.29 – Montagem do resguardo inferior à altura do ensaio (8314RH)

Neste caso, a melhoria face a situação anterior (figura 4.18) também é óbvia. Os membros superiores operam abaixo do nível dos ombros e os ombros já não estão elevados. Contudo, persiste uma ligeira extensão lateral do tronco e do pescoço.

A operação seguinte é a fixação da cablagem principal à cabine (figura 4.30).



Figura 4.30 – Fixação da cablagem principal à altura do ensaio (8314RH)

Este é outro exemplo de uma melhoria ergonómica do posto ao operador. A situação anterior (figura 4.19) apresentava a maioria das características associadas ao trabalho desempenhado acima do nível da cabeça, agora contrariadas com a redução da altura.

A operação seguinte, e última do primeiro grupo de operações, é a fixação dos pedais (figura 4.31).



Figura 4.31 – Fixação dos pedais à altura do ensaio (8314RH)

Tal como verificado nas operações anteriores realizadas durante o ensaio, também a fixação dos pedais comprova uma melhoria das condições de trabalho face à situação anterior (figura 4.21). No entanto, verificam-se práticas incorretas facilmente eliminadas com formação.

O segundo grupo é constituído pelas seguintes operações:

- Montar apoio de pé;
- Colocar autocolante *BlueTec*;
- Montar guias;
- Montar depósito de vácuo;

Estas operações não constituem um fator de risco para o operador quando realizadas à altura “normal”.

A primeira operação do segundo grupo é a montagem do apoio de pé (figura 4.32).



Figura 4.32 – Montagem do apoio de pé à altura do ensaio (8314RH)

A postura do operador continua adequada em relação à situação anterior (figura 4.15) em que não existiam fatores de risco.

A operação seguinte é a colocação do autocolante *BlueTec* (figura 4.33).



Figura 4.33 – Colocação do autocolante *BlueTec* à altura do ensaio (8314RH)

Esta operação representa uma situação idêntica à anterior, em que o operador mantém uma postura adequada. A situação anterior (figura 4.17) também não representava nenhum fator de risco, pelo que o ganho é reduzido.

A operação seguinte é a colocação das guias (figura 4.34).



Figura 4.34 – Montagem das guias à altura do ensaio (8314RH)

Esta operação é a primeira a retratar uma degradação da postura do operador face a situação anterior (figura 4.20), tanto na inclinação frontal do tronco, como numa ligeira flexão dos membros inferiores. Esta operação indica a necessidade de existirem duas posições para a cabine, já que mesma operação executada na posição “normal” da cabine se revela mais adequada.

A última operação deste grupo é a montagem do depósito de vácuo (figura 4.35).



Figura 4.35 – Montagem do depósito de vácuo à altura do ensaio (8314RH)

Tal como na operação analisada anteriormente (figura 4.34), o operador, sofre uma degradação das condições de trabalho relativamente à mesma operação executada com a cabine noutra posição (figura

4.22). Esta condição reforça a necessidade de se executarem diferentes operações com a cabine em várias posições.

Na maioria das operações, a realização do ensaio representa uma melhoria imediata na postura do operador. Nas restantes situações a formação em boas práticas ergonómicas e repetição de operações com a cabine na posição do ensaio, podem trazer a curto prazo a mesma mais-valia ergonómica.

É de salientar que a alteração do posto 8314RH resulta também na alteração do posto 8314LH. Ambos os operadores desempenham as suas tarefas em simultâneo e a alteração da posição da cabine tem um efeito direto na execução das operações do outro posto. Quando se trata de ergonomia, a premissa que sustenta um bom sistema ergonómico é a de que o posto tem de se adaptar ao operador e não o contrário (HSE, 2015a). Com a realização do ensaio, houve uma adaptação ergonómica ao operador do posto 8314RH. Mas qual é o efeito no posto 8314LH? O posto de trabalho 8314LH partilha algumas operações com o posto 8314RH. Contudo, o operador do posto 8314LH executa algumas operações sob a cabine, exigindo que parte do ciclo tenha a posição da cabine à altura “normal”.

O posto 8314LH tem como tarefa as seguintes operações:

1. Movimentar cabine para o *jig* da película;
2. Montar parafusos no tejadilho;
3. Montar farolim do tejadilho;
4. Montar película do tejadilho;
5. Movimentar cabine para o posto elevado;
6. Efetuar limpeza do *kit*;
7. Pré-montagem dos apoios de pé;
8. Montar protetor da cabine;
9. Colocar autocolante *BlueTec*;
10. Montar escora;
11. Montar pega inferior;
12. Montar esquadro do cabo de travão;
13. Montar tapete inferior;
14. Montar resguardo inferior;
15. Montar apoio de pé;
16. Montar guarda-lamas;
17. Preencher documentação;
18. Enviar cabine para a linha final.

Do conjunto das dezoito operações, só as que estão compreendidas entre as operações oito (montar protetor de cabine), inclusive, à dezasseis (montar guarda-lamas), inclusive, é que são afetadas pela posição da cabine. Destas nove operações, três têm que ser executadas sob a cabine:

- Montar escora;
- Montar esquadro do cabo de travão;
- Montar tapete inferior.

Por esta razão, numa determinada fase do ciclo, a cabine terá de estar na posição “normal” para que o operador consiga permanecer sob a cabine.

A operação de montagem do resguardo inferior também pode ser inicialmente excluída, observando a operação simétrica executada no posto 8314RH (figura 4.29). O operador com uma estatura mais baixa (cerca de 20cm) executa esta operação no limite da redução de altura, sendo que o mais alto perde o campo de visão e dificilmente consegue executar a operação.

Assim, falta analisar o efeito da redução da altura da posição da cabine nas restantes cinco operações:

- Montar protetor da cabine;
- Colocar autocolante *BlueTec*;
- Montar pega inferior;
- Montar apoio de pé;
- Montar guarda-lamas.

Assumindo que as operações enumeradas não representam um risco para o operador quando executadas com a cabine na posição “normal” já que a avaliação ergonómica levada a cabo por uma entidade externa (a mesma que identificou o problema de falta de adequação ergonómica no posto 8314RH) não identificou nenhum fator de risco, a análise incide só nas operações executadas com a cabine na posição do ensaio.

A primeira operação analisada é a montagem do protetor de cabine (figura 4.36).



Figura 4.36 – Montagem do protetor de cabine à altura do ensaio (8314LH)

Apesar desta operação evidenciar algum exagero por parte do operador em enaltecendo uma postura desadequada, representa um exemplo de uma operação que pode ser executada com a cabine na posição do ensaio.

A operação de colocação do autocolante *BlueTec* (figura 4.37).



Figura 4.37 – Colocação do autocolante *BlueTec* à altura do ensaio (8314LH)

Observando a operação, é evidente que a postura é desadequada. Sendo uma operação que requer precisão, o operador procura posicionar-se de forma a executá-la ao nível dos olhos. Contudo, é importante voltar a salientar a falta de formação relativamente a boas práticas ergonómicas. Esta operação deve ser executada com a cabine na posição “normal”.

A operação seguinte é a montagem da pega inferior (figura 4.38).



Figura 4.38 – Montagem da pega inferior à altura do ensaio (8314LH)

Esta operação representa outro exemplo de uma operação que pode ser executada com a cabine na posição do ensaio. O operador assume uma posição exagerada, provocada muito possivelmente pela resistência à mudança. No entanto, não se observam fatores de risco.

A operação seguinte é a montagem do apoio de pé (figura 4.39).



Figura 4.39 – Fixação do apoio de pé (altura no ensaio)

A montagem do apoio de pé representa um bom exemplo da degradação provocada pela diminuição da altura da cabine. Torna-se evidente a necessidade de existirem várias posições de trabalho para a mesma operação. Contudo, a análise desta operação levanta a questão se a postura é realmente desadequada ou se o operador assume uma atitude de resistência à mudança. A inclinação do tronco e a flexão dos membros inferiores representam fatores de risco (se a exposição for porlongada), mas a operação aparentemente não exige esta postura. Para preservar o bem-estar do operador, e visto que não representa um risco ser executada na posição “normal”, esta operação deve ser executada nas condições atuais.

A última operação analisada é a montagem do guarda-lamas (figura 4.40).



Figura 4.40 – Montagem do guarda-lama à altura do ensaio (8314LH)

Como se pode constatar, o operador sofre uma degradação da postura de trabalho. A altura reduzida obriga à flexão dos membros inferiores e à extensão lateral do tronco e do pescoço. Este é outro exemplo de operação que deve continuar a ser executada com a cabine na posição “normal”

Algumas das posturas observadas podem ser iludentes, posturas desadequadas provocadas pelo operador, resultado da resistência às alterações a nível operacional. A ideia de que “sempre foi assim” anula a capacidade de adaptação e recetividade às alterações, mesmo que estas representem uma melhoria nas condições de trabalho (sendo esse o objetivo principal), ao invés de uma redução de custos.

Este ensaio procura a adaptação do posto ao operador e demonstra um ganho significativo para o operador do posto 8314RH. Em contra partida, o operador do posto 8314LH (com sensivelmente mais 20 cm de altura) revela uma degradação da postura em algumas operações quando executadas com a cabine na posição do ensaio.

Terminada a análise das operações executadas com a cabine em duas posições diferentes, constata-se a necessidade da cabine assumir duas posições quando é colocada na posição elevada (figura 4.12). Contudo, esta redução de altura não resolve o problema. O sistema continua com efeitos indesejados, agora representados pela necessidade de adaptar a posição da cabine a cada operação. O problema genérico continua a poder ser representado pelo modelo Substância Campo, um sistema completo com efeitos indesejados, representado na figura 4.41.

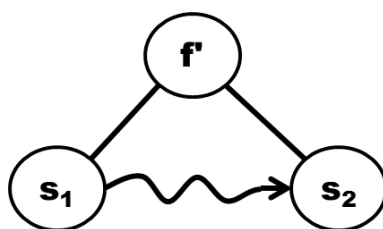


Figura 4.41 – Modelo de Substância Campo referente à primeira alteração do sistema

Segunda alteração ao sistema

Um dos fatores de risco referidos no subcapítulo 2.3 é a duração de uma operação e o efeito que isso provoca nos restantes fatores de risco. Assim, é fulcral encontrar soluções que permitam a redução da duração das operações.

Após atenta análise, podem-se observar procedimentos redundantes durante algumas operações, isto é, a repetição do mesmo procedimento com recurso a diferentes ferramentas, com o intuito de confirmar se a operação foi executada corretamente. Exemplo disso está na utilização de tensores e de chaves dinamométricas para o mesmo fim (figura 4.42). A utilização do tensor parte do pressuposto de um aperto controlado, mas o processo de tratamento/pintura da cabine deixa as roscas com resíduos e induz os tensores em leituras erradas.



Figura 4.42 – Exemplo de operação com procedimentos redundantes

De forma a conseguir eliminar ou reduzir a exposição a posturas danosas, pode-se aplicar outra ferramenta, já referida e utilizada anteriormente, a Matriz de Contradições. Neste caso, de uma forma bastante simples e semelhante ao exemplo de aplicação inicial, este método surge como apoio à Análise de Substância Campo, resolvido com recurso às 7 Soluções Gerais.

Aplicação da Matriz de Contradições

Com o objetivo de diminuir a duração da operação, o parâmetro “9 – Velocidade” é o foco da solução. Por outro lado, é de salientar que este aumento de velocidade resultará na degradação da precisão da tarefa, o parâmetro “29 – Precisão de produção”. Na tabela 4.8, pode-se observar a matriz de contradições condensada aplicada ao caso.

Tabela 4.8 – Matriz de contradições condensada aplicada à segunda alteração do sistema

	29 – Precisão de produção (parâmetro prejudicado)
9 – Velocidade (parâmetro a melhorar)	10, 28, 32, 25

Lista dos princípios inventivos observados na tabela 4.8:

10 - Ação prévia:

- a) Proceder à operação ou parte dela em avanço;
- b) Preparar / posicionar objetos para que possam ser utilizados de imediato.

25 – Automação:

- a) Tornar o objeto capaz de realizar as tarefas autonomamente;
- b) Garantir a utilização de resíduos materiais e energia

28 - Substituição do sistema mecânico:

- a) Substituir um Sistema mecânico por um ótico ou acústico;
- b) Utilizar um campo elétrico, magnético ou eletromagnético para interagir com o objeto;
- c) Substituir campos;
- d) Utilizar um campo em conjunto com partículas ferromagnéticas.

32 - Mudança de cor:

- a) Alterar a cor do objeto ou do ambiente em redor;
- b) Alterar o grau de transparência ou processo que seja difícil de ver;
- c) Usar aditivos de cor para observar objetos ou processos difíceis de ver;
- d) Se já são aplicados aditivos, aplicar traços fluorescentes.

Como referido anteriormente, é na fase de tratamento/pintura da cabine que podem ser depositados resíduos nos elementos roscados dos pontos de fixação da cabine, resultando numa leitura errada dos tensores. No entanto, não é de interesse trocar as ferramentas, visto tratarem-se de ferramentas recentes e apropriadas para as tarefas. Assim, eliminam-se os princípios inventivos 25 e 28. Outro princípio que também deve ser excluído é o 32, simplesmente por não se adequar ao problema. Resta o princípio inventivo 10, mais concretamente a alínea “b) Preparar/posicionar objetos para que possam ser utilizados de imediato.”. Este princípio encaminha para uma solução que consiste na execução de uma operação anterior que permita a redução da duração da operação no posto 8314RH (redução do tempo de exposição a posturas desadequadas). A solução seria então colocar um qualquer tipo de vedante que preservasse a rosca, ou por colocação de um parafuso com rosca curta de forma a permitir uma rápida remoção, um aplique de plástico ou um autocolante. É de realçar que o objeto teria de ser suficientemente resistente para suportar o processo de pintura e tratamento da cabine, e que tanto a sua aplicação como remoção teriam de ser rápidas e simples.

Com esta alteração supõe-se uma redução significativa na duração de uma série de operações, essencialmente pela diminuição do deslocamento e necessidade de seleção de várias ferramentas pelo operador e, mais importante, pela eliminação de parte substancial da operação.

Nos postos 8314RH e 8314LH existem quatro operações suscetíveis de melhoria: no posto 8314LH a montagem da escora da cabine e a montagem da pega inferior, e no posto 8314RH a fixação dos bancos e a fixação dos pedais à cabine. Na tabela 4.9, estão representadas as operações com os tempos durante o estudo e a previsão de redução com a implementação da melhoria.

Tabela 4.9 – Previsão de melhoria dos tempos de operações

Posto 8314LH			Posto 8314RH		
Operação	Duração (s)		Operação	Duração (s)	
	Antes	Depois		Antes	Depois
Montar escora da cabine	110	88	Fixar os bancos	70	45
Montar pega inferior	45	32	Fixar pedais à cabine	57	33

Estes valores são baseados na observação das operações e por análise das Folhas de Trabalho Padrão e Folhas de Operação de cada um destes postos e operações estes documentos. Estes documentos detalham as operações e classificam-nas de acordo com os princípios de avaliação do TOS.

Mesmo com a redução da duração das operações, continua a persistir o problema. Contudo, existem outras técnicas para atingir o estado “ideal”. Como ainda existem efeitos indesejados no sistema em estudo, o modelo Substância Campo continua a ser representado por um sistema completo, mas com efeitos indesejados (figura 4.43).

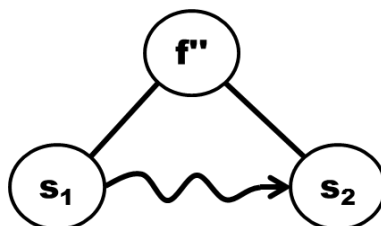


Figura 4.43 – Modelo de Substância Campo referente à segunda alteração do sistema

Nesta fase, o problema reside em equilibrar as operações. Pretende-se redistribuir as operações de ambos os postos para criar uma sinergia na posição da cabine em função das operações, e diminuir os *setups* necessários para alterar a posição da cabine.

Terceira alteração do sistema

Novamente seguindo o método de resolução para modelos Substância Campo, a alteração incide na alteração do campo “f’”, mais concretamente no balanceamento (*estrangereirismo* da palavra inglesa *balancing*) das operações executadas nos postos 8314RH e 8314LH).

Este balanceamento tem de atender aos resultados obtidos no ensaio realizado na primeira alteração do sistema. Desta forma, é dada a classificação de “A”, “B” ou “C” às operações que são executadas quando a cabine se encontra na posição elevada (figura 2.12). A classificação “A” refere-se a operações que podem ser executadas à altura máxima (ou “normal”) pelo operador, “B” para operações desempenhadas a altura do ensaio e “C” para operações que não são afetadas pela posição da cabine. As tabelas 4.10 e 4.11 apresentam a duração, classificação e código atribuído a cada uma das operações por posto.

Tabela 4.10 – Operações do posto 8314LH

Posto 8314LH			
Operação	Código	Duração (s)	Posição da Cabine
Efetuar limpeza do <i>kit</i>	L1	17	C
Pré-montagem dos apoios de pés	L2	76	C
Montar protetor da cabine	L3	27	B
Colocar autocolante <i>BlueTec</i>	L4	37	A
Montar escora	L5	88	A
Montar pega inferior	L6	32	B
Montar esquadro do cabo de travão	L7	44	A
Montar tapete inferior	L8	43	A
Montar resguardo inferior	L9	64	A
Montar apoio de pé	L10	45	A
Montar guarda-lamas	L11	75	A
Preencher documentação	L12	20	C
Enviar cabine para a linha final	L13	40	C

Tabela 4.11 – Operações do posto 8314RH

Posto 8314RH			
Operação	Código	Duração (s)	Posição da Cabine
Fixar os bancos	R1	45	B
Colocação de tapa furos	R2	29	B
Montar apoio de pé	R3	45	A
Montar guarda-lamas	R4	74	B
Colocar autocolante <i>BlueTec</i>	R5	37	A
Montar resguardo inferior	R6	53	B
Fixar cablagem principal	R7	17	B
Montar guias	R8	16	A
Fixar pedais	R9	33	B
Montar depósito de vácuo	R10	142	A
Preencher documentação	R11	22	C
Teste de estanquicidade	R12	120	C
Pré-montagem tanque de vácuo	R13	58	C

De forma a ter a perceção da diferença entre as necessidades da posição da cabine, resultado das diferentes operações e medidas antropométricas dos operadores, o gráfico de barras seguinte (figura 4.44) apresenta o somatório do tempo (em segundos) de cada um dos operadores para cada cota de trabalho adequada em função da classificação atribuída.

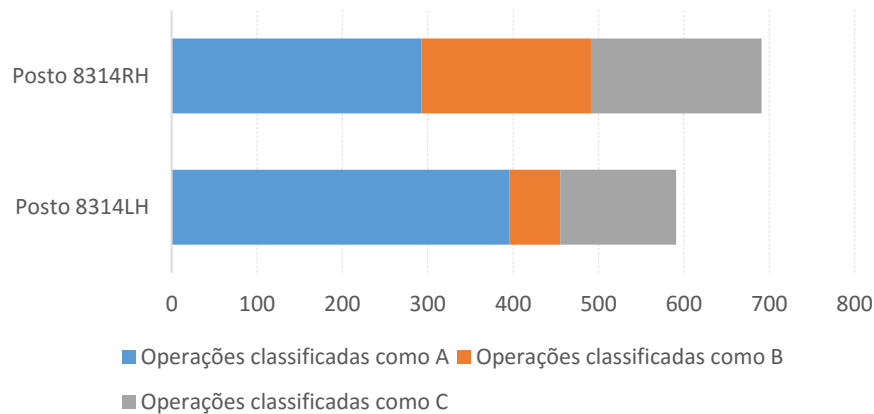


Figura 4.44 – Somatório da duração (s) das operações por classificação de cada posto

Recorrendo a uma forma pictórica (com o mesmo esquema de cores da figura 4,44), a figura 4.45 representa as operações por ordem de execução de cada posto, com as operações representadas pelo código atribuído nas tabelas 4.10 e 4.11. Deste modo, constata-se a incompatibilidade entre operações e a necessidade de alteração da posição da cabine. Idealmente, as operações devem estar reunidas em função da classificação (representada na figura pela cor).

Operações do posto 8314LH

17	76	27	37	88	32	44	43	64	45	75	20	40
L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13

Operações do posto 8314RH

45	29	45	74	37	53	17	16	33	142	22	120	58
R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13

Legenda:

 Operação classificada como A	 Operação classificada como C
 Operação classificada como B	R(x)/L(x) Código da operação

Figura 4.45 – Ordem inicial das operações com classificação representada por cor

Face a esta incompatibilidade, e de forma a preservar a melhor posição da cabine para cada um dos operadores, é necessária a elaboração de um novo balanceamento de operações, que por sua vez tem de atender:

1. A uma menor variação da altura da cabine ao longo do ciclo;
2. A que os operadores não podem estar em simultâneo na mesma zona;
3. A que as operações com classificação “C” são neutras, não sendo afetadas pela altura da cabine;
4. A que as operações que estão dependentes de outras, possam ser executadas.

O novo balanceamento das operações, em função da posição da cabine, é representada na figura 4.46.

Operações do posto 8314LH

17	76	27	32	120	45	37	88	44	43	64	75	20
L1	L2	L3	L6	R12	L10	L4	L5	L7	L8	L9	L11	L12

Operações do posto 8314RH

45	29	74	17	33	53	45	37	16	142	22	58	40
R1	R2	R4	R7	R9	R6	R3	R5	R8	R10	R11	R13	L13

Legenda:

 Operação classificada como A	 Operação classificada como C
 Operação classificada como B	R(x)/L(x) Código da operação

Figura 4.46 – Balanceamento de operações em função da posição da cabine

O balanceamento de operações dos dois postos resulta essencialmente devido à existência de operações classificadas com “C”, cuja execução não sofre interferência da posição da cabine. Do balanceamento resulta a transferência de operações entre os postos 8314LH e 8314RH.

Outra questão importante está na operação R12, que representa 120 segundos no tempo de ciclo. Contudo, é uma operação desempenhada de dois em dois ciclos, sendo que uma outra melhoria interessante seria dividir a operação R12, ocupando assim todos os ciclos e reduzindo a diferença de 77 segundos entre os dois postos para 17 segundos. Esta divisão consiste em separar a preparação para o teste de estanquicidade do teste efetivo de estanquicidade, com uma duração de 60 segundos.

Relativamente à alteração da ordem de execução de operações, confirma-se que nenhuma das operações invalida outra, por nenhuma destas obedecer a regras de precedência. Da mesma forma, não acontece nenhuma invasão do espaço ocupado pelo outro operador, premissas definidas inicialmente para o balanceamento dos postos.

Porém, o sistema ainda não é representado por um modelo completo, sem efeitos colaterais negativos (figura 2.8). Apesar da solução estar próxima, ainda resta eliminar pequenos contratempos que possam surgir. Esta solução foi desenvolvida em função de dois operadores específicos, o posto foi adaptado à estatura do operador do posto 8314RH. Contudo, dada necessidade de atribuir as tarefas a outro operador com uma estatura diferente, os fatores de risco podem surgir novamente, portanto o sistema continua a ser representado por um modelo Substância Campo completo com efeitos indesejados (figura 4.47).

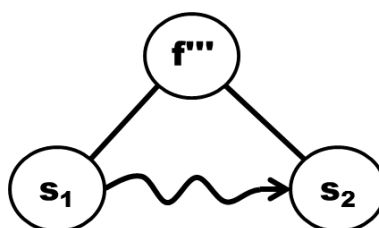


Figura 4.47 – Modelo de Substância Campo referente à terceira alteração do sistema

Quarta alteração do sistema

Assumindo que foi alcançada a melhor situação para o campo “f” com a aplicação de três alterações no modo como são desempenhadas as tarefas nos postos 8314RH e 8314LH, deixa de ser uma opção fazer mais uma alteração no campo “f””. No entanto, as 7 soluções gerais sugerem a criação de um campo adicional (figura 2.13) para eliminar ou neutralizar os efeitos indesejados provocados por “f””

Abordar potenciais causas de LMERT

Há várias formas de abordar situações de risco. Uma delas é a rápida identificação de sintomas ou sinais (referido no subcapítulo 2.3) de uma LMERT, resultando numa diminuição drástica das lesões crónicas e de despesas para as empresas.

No caso de estudo, a diminuição da altura da posição da cabine resulta na eliminação dos fatores de risco para um operador em concreto. Idealmente, quando se lida com uma tarefa com um fator de risco elevado, a primeira alternativa para eliminar o risco é automatizar/mecanizar, opção que foi inicialmente desconsiderada. Contudo, nem sempre se pode ter esta abordagem, e nesse caso existem outras alternativas, nomeadamente (HSE, 2015b):

- Reduzir repetições;
- Procurar a posição de trabalho adequada;
- Reduzir quantidade de força;
- Reduzir a duração;
- Melhorar condições do ambiente de trabalho;
- Contrariar efeitos do trabalho ou condições.

Algumas destas alternativas já foram implementadas, como a redução da duração de operações e a adaptação das operações ao operador.

Ao longo do ensaio foram registadas algumas posturas incorretas, o que revelou falta de informação. A formação sobre fatores de risco não representa a eliminação da possibilidade de contrair uma LMERT, mas permite que os trabalhadores consigam identificar os fatores de risco e idealmente sugerir alterações. No entanto, ainda pode ser aplicada mais uma alternativa listada anteriormente, a redução de repetições. Esta solução parte da formação de um grupo de operadores capazes de desempenhar várias tarefas e construir uma matriz de polivalência capaz de permitir a rotatividade entre postos.

Rotação de operadores

Uma forma de conseguir enraizar este tipo de medidas começa por criar quadros de polivalência capazes de rotação entre operadores. Não só quando existe essa necessidade devido a absentismo do operador, mas também num registo continuado (rotatividade de operadores entre postos no intervalo

de ciclos). Esta rotação nos postos permite que o operador exerça outro tipo de movimentos, diminuindo a repetição de uma determinada operação e reduzindo o esforço.

Com a introdução de um novo campo alcançamos uma situação satisfatória, com um sistema completo eficiente e sem efeitos colaterais negativos (figura 4.48).

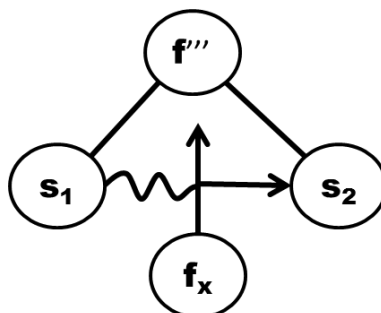


Figura 4.48 – Modelo de Substância-Campo referente à quarta alteração do sistema

4.2.4. Solução apresentada

A utilização da Análise Substância-Campo teve como objetivo inicial tornar o problema concreto num problema genérico, de forma a eliminar o problema por desadequação ergonômica. Este problema residia essencialmente na diferença de alturas entre os dois operadores e na incapacidade de adaptação do posto à estatura do operador.

As alterações iniciais ao sistema procuraram redesenhar o processo e eliminar o problema inicial. Desde o ensaio que demonstrou uma melhoria significativa na postura de trabalho, ao balanceamento de operações que evidenciou uma capacidade efetiva de eliminar o problema.

Eliminados os efeitos indesejados, através da redução de altura da cabine, da melhoria de algumas operações, do balanceamento de operações e da inclusão de medidas organizacionais, surge a oportunidade para mais uma inovação.

Aliado ao manuseamento de cargas em altura, surgem eventualmente acidentes de trabalho. Só no ano de 2014, foram registados trinta e quatro acidentes graves e vinte e seis só até ao dia 5 de Agosto de 2015 (ACT, 2015a). Um dado ainda mais alarmante é que o mesmo tipo de acidentes resultou no óbito de onze pessoas em 2014 e nove até ao dia 5 de Agosto de 2015 (ACT, 2015b). Assim, é de extrema importância consciencializar tanto operadores como responsáveis pela manutenção, da necessidade de uma correta utilização e manutenção de qualquer um dos equipamentos referidos no caso em estudo, já que acidentes neste tipo de atividade são bastante suscetíveis de acontecer.

A razão desta preocupação advém do equipamento utilizado atualmente (figura 4.49). Quando é efetuado o trabalho com a cabine elevada, os *gabarits* utilizados suportam o peso da cabine quase na sua totalidade o peso da cabine. Neste caso, se o operador não posicionar a cabine a uma determinada altura (sem exercer o peso total da cabine nos *gabarits*), o equipamento que a suspende perde a tensão e abre os apoios que a suportam, passando o peso a ser totalmente suportado pelos *gabarits*.



Figura 4.49 – Pegas do guincho de elevação da cabine

Para desenvolver um equipamento que substitua os *gabarits* atuais e permita um *setup* rápido das diferentes posições da cabine, devem ser tidos em conta os seguintes pontos:

1. Garantir a segurança dos operadores (caso de falha do sistema de elevação, evitar o esmagamento);
2. Garantir estabilidade à cabine no plano horizontal enquanto estão a ser desempenhadas operações;
3. Garantir *setups* rápidos;
4. No eixo vertical, não pode exercer uma força normal, capaz de suportar o peso da cabine, para que as pegas do guincho não percam a tensão e abram;
5. Em caso de falha do guincho, suportar o peso da cabine.

Atendendo às condições anteriores, foi projetado um protótipo num programa de modelação 3D do que pode ser a solução. A figura 4.50 mostra o suporte destinado à dianteira da cabine.

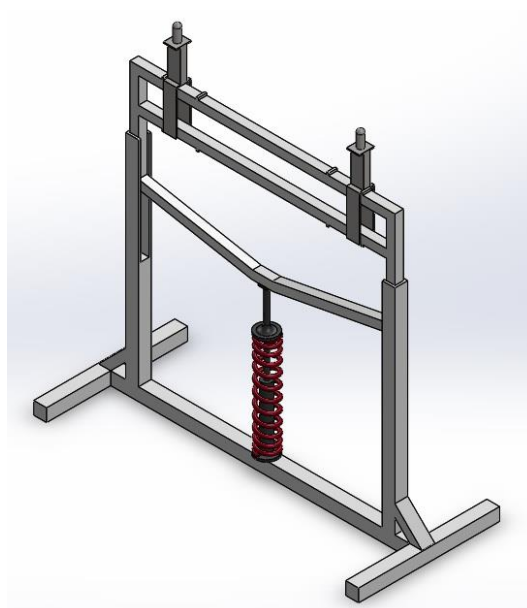


Figura 4.50 – Protótipo de *gabarit* dianteiro da cabine com amortecedor ASD

Desenvolvido à imagem do apoio atual, o suporte proposto é equipado com um amortecedor sensível a acelerações, também conhecido por *ASD (acceleration sensitive damping)*. Este permite um movimento fluido da cabine ao longo do eixo vertical em condições “normais”, mas quando sujeito a uma aceleração superior, comporta-se com maior rigidez e absorve a queda da cabine até ao ponto em que o elemento móvel toca no elemento fixo, passando o peso a ser suportado unicamente pela estrutura. Este novo equipamento permite um posto adaptável à estatura de qualquer operador e torna o *setup* menos demorado. Além disso representa mais uma alternativa na eliminação de fatores de risco, com a conceção de um posto adaptável a qualquer operador. No mesmo registo de inovação, este equipamento também visa reduzir o tempo perdido a adaptar o posto aos dois tipos de cabine (largo e estreito), com outros elementos móveis (figura 4.51).

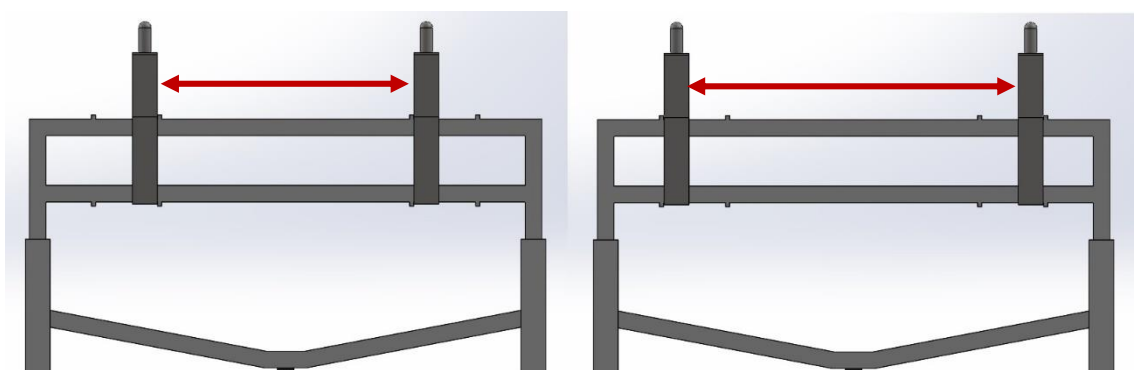


Figura 4.51 – Detalhe dos elementos móveis para adaptação do apoio a cabines estreitas e largas

O sistema atual (figura 4.52) exige uma operação mais demorada do que a solução proposta, sendo que a utilização deste modelo proposto trará ganhos produtivos.



Figura 4.52 – Esquema atual do *gabarit* dianteiro da cabine

Esta segunda melhoria só afeta um dos *gabarits* (o dianteiro), visto que o outro não exige a adaptação ao tamanho de cabine.

5. Conclusão e sugestões

O presente capítulo pretende, de uma forma sintetizada, apresentar os ganhos que a integração da TRIZ traz ao quotidiano de uma fábrica da indústria automóvel. Pretende também identificar os pontos que fazem desta metodologia a ideal para a resolução de problemas, apresentar as resistências organizacionais e comportamentais encontradas em ambos os casos estudados e as dificuldades encontradas, relacionadas com a metodologia TRIZ

5.1. Conclusão

A TRIZ, como metodologia inventiva de resolução de problemas e de inovação sistemática, aplicada de uma forma básica, revela-se prática e bastante útil. Utilizar ferramentas como a Matriz de Contradições e a Análise Substância Campo oferecem retribuição imediata e revelam-se de fácil aprendizagem. No entanto, a capacidade de quem aplica qualquer uma das ferramentas tem efeito direto no resultado que se obtém. Entender os conceitos e ter a capacidade da receptividade dos mesmos tem uma influência tremenda na recompensa.

A fase inicial de estudo da metodologia está limitada a um utilizador com formação visto que, apesar desta metodologia existir há um tempo considerável, não é muito conhecida e, consequentemente, existe pouco material disponível, especialmente em português. As referências de material disponível são na sua generalidade na maioria dos mesmos autores. Esta limitação dificulta a possibilidade de incentivar chefes de equipa e mesmo operadores de linha a adotarem esta metodologia de uma forma autónoma para a resolução de problemas do quotidiano. Sente-se que a vontade de Genrich Altshuller de tornar a TRIZ uma ferramenta de todos e para todos, seguiu um percurso menos acessível.

No caso da conceção do *kit* em que foi mais explorada a Matriz de Contradições, a matriz de idealidade revelou-se extraordinária na reunião de informação sobre as várias áreas operacionais da fábrica. Tratando-se de um projeto com grande abrangência dentro da organização, torna-se imprescindível o recurso a métodos como o *brainstorming*, não só para obtenção da solução do problema, mas fundamentalmente para a formulação rápida do problema ou das necessidades. O recurso a esta matriz eliminou possíveis discussões de ideias e encaminhou imediatamente o problema na direção da solução. De certa forma, a expressão “agradar a gregos e troianos” ganha outra conotação. A reunião rápida da informação necessária à conceção do produto (neste caso o *kit*) auxilia bastante a obtenção de um estado de “idealidade” superior. Contudo, ao lidar-se com termos muito genéricos, facilmente se cometem erros na interpretação dos parâmetros de engenharia ou mesmo dos princípios inventivos. Contudo, o resultado final do *kit* foi bastante apreciado, as orientações dos princípios inventivos foram bastante precisas e permitiram construir, com material existente, um conceito bastante capaz e funcional.

A aplicação da TRIZ ao desenvolvimento do *kit*, teve a vantagem de poder ser aplicada em simultâneo com o projeto do TOS+, permitindo de imediato mostrar a mais-valia na sua aplicação e acrescentar valor à solução final. Apesar do ceticismo inicial (e natural), a TRIZ foi capaz de convencer, e com alguma modéstia, vencer num meio onde era desconhecida.

No caso do problema por falta de adequação ergonómica onde se aplicou a Análise Substância Campo, o resultado não é muito diferente. No entanto, a utilização das 76 Soluções Padrão poderia alterar esta conclusão. Sendo uma ferramenta extremamente completa e complexa, só a sua dimensão é suficiente para afastar o mais audaz, mas inexperiente utilizador (mesmo estas 76 soluções estando divididas por classes). Em contra partida, as 7 Soluções Gerais oferecem outra dinâmica à resolução. Mesmo com uma abordagem mais gráfica e condensada do que as 76 Soluções Padrão, não ficam aquém e revelam-se muito mais “*user friendly*”.

Na resolução do problema ergonómico, o ensaio com a redução em altura da execução das operações em 0,3 m foi o primeiro e mais importante passo na resolução. A pronta e rápida disponibilidade, e a vontade das várias áreas operacionais em fazerem parte da solução (nomeadamente, a Produção, a Manutenção, a Engenharia e a Higiene e Segurança) foi essencial para atingir o resultado final. Com o “terreno” já “desbravado” pelas ferramentas utilizadas anteriormente, a Análise Substância Campo orienta da melhor forma os passos na direção da solução, dando força à premissa inicial da resolução de problemas baseada num sistema *step-by-step*.

O ponto menos positivo na questão ergonómica reside na resistência à mudança demonstrada pelos operadores. Esta resistência resultou em posturas exageradas e que poderiam, numa primeira análise, indiciar uma degradação da postura de trabalho face à situação anterior (mesmo depois de ter sido clarificado que o objetivo do ensaio seria melhorar as condições de trabalho). Revela-se extremamente importante informar e formar os operadores sobre os malefícios de práticas danosas, ensinar as boas práticas e reensinar a execução de determinadas tarefas. Ao contrário do primeiro estudo de caso, a solução deste problema limita-se à apresentação de uma possível melhoria (não que seja inválida), mas a sua implementação acrescentaria ainda mais valor ao trabalho desenvolvido.

Outro ponto negativo e igualmente importante foi a incapacidade de apresentar o ganho financeiro. A natureza do estudo não permitiu apresentar um valor concreto do ganho monetário (tão importante nos dias que correm), mas mostrou que a TRIZ, aplicada a projetos similares àquele em que foi integrada, apoia os modelos tradicionais e possivelmente permite que possam ser cumpridas metas em tempos reduzidos. Nesse caso, poder-se-á constatar o retorno com uma perspetiva financeira.

De uma forma geral, a TRIZ superou qualquer expectativa e revelou se um recurso a ter em conta, mesmo que num contexto esporádico, podendo acrescentar valor só com o recurso às ferramentas mais elementares.

5.2. Sugestões para trabalhos futuros

Depois do primeiro contacto com a TRIZ e de se dominar a matéria, tornam-se mais óbvios os ganhos que esta pode gerar. Ao nível do chão de fábrica, a ideia de chefes de equipa serem capazes de aplicar as ferramentas mais rudimentares da TRIZ (utilizadas nos casos em estudo) na resolução de problemas, ou, até, associa-las às ferramentas que já dispõem, para que consigam gerar “*quick wins*” nas tarefas diárias, poderia ter um resultado interessante. Além disso, o facto de terem o contacto direto

com os processos traz-lhes a vantagem de uma rápida formulação e resolução dos problemas, ou mesmo inovações sistemáticas nos processos.

Não obstante, as equipas de trabalho de departamentos operacionais (ou *staff*) também podem usufruir desta metodologia. Ao fim e ao cabo, o primeiro estudo em caso representou exatamente isso. A utilização dos métodos tradicionais para reunir informação e a matriz de idealidade para o rápido tratamento, pode representar um aumento de eficiência nestes “*brainstormings*” e consequentemente ganhos a nível de obtenção de respostas ou soluções.

Para tal, de forma a poder aplicar a TRIZ ao nível das chefias intermédias e dos operadores, e à semelhança do que já acontece com outras metodologias (tais como; 8D e Diagrama de Ishikawa), deverá ser desenvolvido um modelo de aplicação prática baseado na metodologia aplicada.

Referências bibliográficas

Bibliografia principal

ACT, 2015a. *Estatística de Acidentes de Trabalho - Acidentes de Trabalho Graves*. Disponível em: [http://www.act.gov.pt/\(pt-PT\)/CentroInformacao/Estatistica/Paginas/AcidentesdeTrabalhoGraves.aspx](http://www.act.gov.pt/(pt-PT)/CentroInformacao/Estatistica/Paginas/AcidentesdeTrabalhoGraves.aspx)

[Acedido a 23 de agosto de 2015].

ACT, 2015b. *Estatística de Acidentes de Trabalho - Acidentes de Trabalho Mortais*. Disponível em: [http://www.act.gov.pt/\(pt-PT\)/CentroInformacao/Estatistica/Paginas/AcidentesdeTrabalhoMortais.aspx](http://www.act.gov.pt/(pt-PT)/CentroInformacao/Estatistica/Paginas/AcidentesdeTrabalhoMortais.aspx)

[Acedido a 23 de agosto de 2015].

ADP, 2015. *Manufacturing Electrified Vehicles in Wolfsburg in Automotive Design and Prudution*. Disponível em: <http://www.autofieldguide.com/articles/manufacturing-electrified-vehicles-in-wolfsburg>

[Acedido a 19 de setembro de 2015].

Apte, P. R., Shah, H. & Mann, D., 2000. "5w's" and an "H" of TRIZ Innovation. 10th World Congress on Total Quality, s.n., pp. 224-237.

Barry, K., Domb, E. & Slocum, M. S., 1996. *TRIZ – What is TRIZ?*. Disponível em: <http://www.triz-journal.com/triz-what-is-triz/>

[Acedido a 16 de fevereiro de 2015].

Campbell, B., 2003. Brainstorming and TRIZ. *The TRIZ Journal*, February, 2003. Disponível em: <http://www.triz-journal.com/brainstorming-triz/>

[Acedido a 15 de abril de 2015].

CCOHS, 2014. *Working in a Standing Position in Canadian Center for Occupational Health and Safety*. Disponível em: http://www.ccohs.ca/oshanswers/ergonomics/standing/standing_basic.html

[Acedido a 17 de Julho de 2015].

Daimler AG, 2009. *Truck Operating System - Methods Manual*. Stuttgart: Operational Management Council Departement.

Daimler AG, 2013. *Ergonomic reference values*. Stuttgart: Operational Management Council Departement.

Domb, E., 1997. *QFD and TIPS/TRIZ*. Linkoping, Sweden, 3rd International Symposium on QFD.

Domb, E., Terninko, J., Miller, J. & MacGran, E., 1999. The Seventy-Six Standard Solutions: How They Relate to the 40 Principles of Inventive Problem Solving. *The TRIZ Journal*, May, 1999. Disponível em: <http://www.triz-journal.com/seventy-six-standard-solutions-relate-40-principles->

inventive-problem-solving/

[Acedido a 15 de julho de 2015].

Gezondheidsraad, 2000. *RSI*. Den Haag: Gezondheidsraad.

HSE, 2014. *Costs to Britain of workplace fatalities and self-reported injuries and ill health, 2012/13*, Reino Unido: Health and Safety Executive.

HSE, 2015a. *Human factors: Design*. Disponível em: <http://www.hse.gov.uk/humanfactors/topics/design.htm>
[Acedido a 16 de maio de 2015].

HSE, 2015b. *Reducing the risk of upper limb disorders (ULDs) in the workplace*. Disponível em: <http://www.hse.gov.uk/msd/uld/employers/howtoreducerisk.htm>
[Acedido a 28 de julho de 2015].

HSE, 2015c. *What are ULDs?*. Disponível em: <http://www.hse.gov.uk/msd/uld/whatareulds.htm>
[Acedido a 28 de julho de 2015].

IEA, 2000. *Definition and Domains of Ergonomics*. Disponível em: <http://www.iea.cc/whats/index.html>
[Acedido a 21 de setembro de 2015].

Ikovenko, S. & Bradley, J., 2005. TRIZ as a Lean Thinking Tool. *The TRIZ Journal*. February, 2005. Disponível em: <http://www.triz-journal.com/triz-lean-thinking-tool/>
[Acedido em 15 de abril de 2015].

Mao, X., Zhang, X. & Abourizk, S., 2007. Solutions for Su-Field Analysis. *The TRIZ Journal*, August, 2007. Disponível em: <http://www.triz-journal.com/generalized-solutions-for-su-field-analysis/>
[Acedido a 15 de julho de 2015].

Mazur, G., 1996. *Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ)*. Disponível em: <http://www.mazur.net/triz/>
[Acedido a 14 de abril de 2015].

McAtamney, L. & Corlett, E. N., 1993. RULA: A Survey Method for the Investigation of Work-Related Upper Limb Disorders. *Applied Ergonomics*, Volume 24, pp. 91-99.

Melton, T., 2005. The Benefits of Lean Manufacturing - What Lean Thinking has to Offer the Process Industries. *Chemical Engineering Research and Design*, Volume 83(A6), pp. 662-673.

Navas, H. V., 2013. TRIZ Uma metodologia para a resolução de problemas. In: *Guia de Empresas Certificadas*. Cem Palavras Comunicação Empresarial, Ida, pp. 28-32.

Navas, H. V. G., 2014a. Fundamentos do TRIZ (Parte II - Níveis de Inovação). *Inovação e Empreendedorismo*, Maio, Volume 51, p. 3.

Navas, H. V. G., 2014b. Fundamentos do TRIZ (Parte III - Contradições Técnicas e Físicas). *Inovação & Empreendedorismo*, Junho, Volume 52, p. 3.

Navas, H. V. G., 2014d. Fundamentos do TRIZ (Parte VII - Princípios Inventivos ou Técnicas Para Vencer Conflitos). *Inovação & Empreendedorismo*, Novembro, Volume 56, p. 4.

NIOSH, 1997. *Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors: A Critical Review of Epidemiologic Evidence for Work-Related Musculoskeletal Disorders of the Neck, Upper Extremity, and Low Back*. Cincinnati, Ohio: National Institute for Occupational Safety and Health.

Nunes, I., 2006. *Lesões Músculo-esqueléticas Relacionadas com o Trabalho - Guia para avaliação de risco*. 1ª ed. Lisboa: Verlag Dashofer.

Putz-Anderson, V., 1988. Cumulative trauma disorders: A manual for musculoskeletal diseases of the upper limbs. *Taylor & Francis*.

Salvendy, G., 1998. Ergonomics in Plant Operations. Em: W. Karwowski & G. Salvendy, edits. *Ergonomics in Manufacturing*. Dearborn, Michigan: Society of Manufacturing Engineers, pp. 1-4.

Savransky, S., 2000. *Engineering of Creativity (Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving)*. 1ª ed. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC.

Terninko, J. & Zusman, A., 1998. *Systematic Innovation, An Introduction to TRIZ*. 1ª ed. Boca Raton, Florida: St. Lucie Press.

Womack, J. P. & Jones, D. T., 2003. *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. 2ª ed. New York: Free Press.

Bibliografia complementar

Altshuller, G., 1996. *And Suddenly the Inventor Appeared*. 2ª ed. Worcester, Massachusetts: Technical Innovation Center.

Altshuller, G., 2007. *The Innovation Algorithm - TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity*. 2ª ed. Worcester: Technical Innovation Center, Inc..

Coelho, D. A., 2009. Matching TRIZ engineering parameters to human factors issues in manufacturing. *WSEAS Transactions on Business and Economics*, Volume 11(6), pp. 547-556.

Fey, V. R. & Rivin, E. I., 1997. *The Science of Innovation*. 1ª ed. West Bloomfield, Michigan: TRIZ Group.

Izumia, H. & Sawaguchib, M., 2013. Optimizing Process for Improvement Design Using TRIZ and the Information Integration Method. Em: A. Aoussat, D. Cavallucci, M. Trela & J. Duflou, edits. *TRIZ Future 2013*. Paris, France: Arts et Métiers, pp. 203-211.

Maia, L. C., Alves, A. C. & Leão, C. P., 2012. How could the TRIZ tool help continuous improvement efforts of the companies?. Em: V. C. Machado, Navas, H. V. G. & T. Vaneker, edits. *TRIZ - Future Conference 2012*. Lisboa: FCT - UNL, pp. 193-202.

Navas, H. V. G., 2014. Radical and Systematic Eco-innovation with TRIZ Methodology . Em: S. G. Azevedo, M. Brandenburg, H. Carvalho & V. Cruz-Machado, edits. *Eco-Innovation and the Development of Business Models - Lessons from Experience and New Frontiers in Theory and Practice*. Switzerland: Springer, pp. 81-95.

Navas, H. V. G., 2014c. Fundamentos do TRIZ (Parte V - Idealidade). *Inovação e Empreendedorismo*, Volume 54, p. 3.

Navas, H. V. G. & Machado, V. A. C., 2011. *Inovação Sistemática com a Metodologia TRIZ num Ambiente de Lean Management*. Guimarães, Universidade do Minho, Escola de Engenharia, pp. 199-204.

Saliminamin, S., Parvin, M., Karimi, M. & Khoshghalb, H., 2012. How TRIZ beginners can find and solve inventive problems with 5 simple tools among all TRIZ tools. In: V. C. Machado, Navas, H. V. G. & T. Vaneker, edits. *TRIZ - Future Conference 2012*. Lisboa: FCT-UNL, pp. 593-602.

Suzaki, K., 2010. *Gestão de Operações Lean - Metodologias Kaizen para a Melhoria Contínua*. 1ª ed. Mansores: LeanOp Press.

Suzaki, K., 2013. *Gestão no Chão de Fábrica Lean - Sustentado a Melhoria Contínua Todos os Dias*. 1ª ed. Rio Meão: LeanOp Press.

Wilson, L., 2010. *How to Implement Lean Manufacturing*. 1ª ed. USA: McGraw Hill.

Womack, J. P., Jones, D. T. & Roos, D., 1992. *A Máquina que Mudou o Mundo*. 5ª ed. Rio de Janeiro: Editora Campus.